書誌第941号
Pub. No. 941

水路部報告

第11巻

南洋群島の珊瑚礁

THE BULLETIN OF THE HYDROGRAPHIC OFFICE

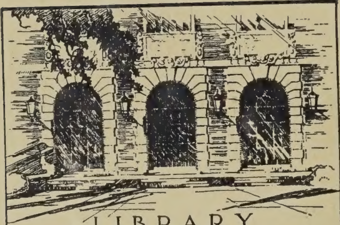
VOLUME XI

Coral Reefs in the South Seas

昭和27年5月刊行

海上保安庁

MARITIME SAFETY AGENCY
TOKYO, JAPAN



正　誤　表

Errata

ページ Page	行 Line	誤 Error	正 Right
8	下から 5	28°	22°
11	〃 10	東方	南方
17	〃 6	EarlDal housie	Earl Dalhousie
52	第 42 図 Fig. 42	ハグマン海崖 of Kagman	ナフタン海崖 of Nafutan
80	13	（第6表）を削除	
126	4	現水準面卓礁	現水準面準卓礁
128	下から14	1.5 m	15 m
〃	〃 11	現水準面堡礁	現水準面準堡礁
143	5	石灰藻を構成する	石灰藻嶺を構成する
145	第137 図 Fig. 137	Beach sandstone	Beach sand
186	27	28°	22°
199	5	a valley in valley	a valley divide

書誌第941号
Pub. No. 941

水　路　部　報　告

第 11 巻

南洋群島の珊瑚礁

THE BULLETIN OF THE HYDROGRAPHIC OFFICE

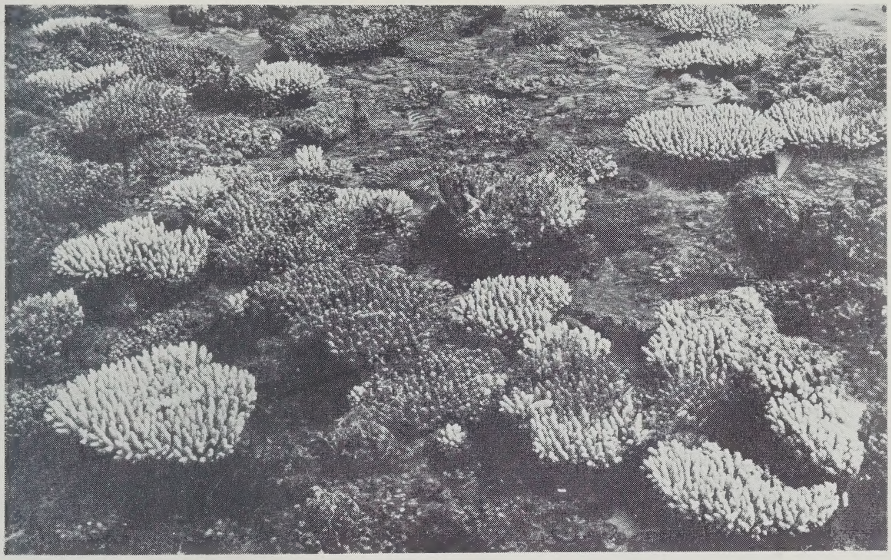
VOLUME XI

Coral Reefs in the South Seas

昭和27年5月刊行

海　上　保　安　庁

MARITIME SAFETY AGENCY
TOKYO, JAPAN



ヤルート環礁礁原上の造礁珊瑚

Reef building corals on the reef-flat of Jaluit Atoll

序

水路部報告は、昭和17年に第10巻が刊行されて以来一時中絶の形となっていたが、今回10年ぶりに第11巻を刊行することになった。

元来、水路部報告は、水路業務全般にわたる基礎的調査・研究および水路の測量・観測の成果等、いずれも筆者各位が苦心研究の結果を集録したものである。

この第11巻もこれにもれず、現水路部測量課長理学博士田山利三郎が、東北大学の助教授であった当時、水路部の依嘱によって行った昭和7年以来10年余にわたる「南洋群島の珊瑚礁」の科学的調査の結果をまとめたものである。

この報告が単に水路業務にたづさわる者へ対してばかりでなく、珊瑚礁の問題が海洋地質学界の中心課題であり、太平洋学術研究会議の中心問題ともなっている今日、この方面へも大いに寄与するであろうと信じる。

昭和27年5月　　　**水路部長　須田晥次**

Preface

The Bulletin of the Hydrographic Office had been suspended for a time since the volume X of it was done in 1942, but we have been able to bring forth the volume XI after ten years stoppage.

Essentially the Bullentin of the Hydrographic Office is the collection of the results which the writer has obtained after his immense amount of labor in the researching, such as basic investigation and research about all of the hydrographical business or the results of the hydrographical surveying and observation, and so on.

The volume XI, now brought forth, can be applied to the case mentioned above. And this work was done by Risaburō Tayama, a doctor of science and the present chief of Surveying Section of Japan Hydrographic Office, collecting the results of his scientific research about Coral Reefs of the South Seas for more than ten years since 1932 requested by Hydrographic Office when he was an assistant professor of Tōhoku University.

I am sure this volume will contribute not only to those who are engaged in the hydrographical business but also to Marine Geologic Society and the Pacific Science Congress, both of them adopt coral reefs as the most interested problem.

KANZI SUDA
Chief Hydrographer

May, 1952.

目　　　次

CONTENTS

南洋群島の珊瑚礁

水路部測量課長

理學博士　田山利三郎

I 緒　　言

本報告は筆者が東北大学理学部地質学古生物学教室並に南洋庁熱帯産業研究所の職員として又水路部囑託として旧日本委任統治領南洋群島の地形・地質特に珊瑚礁を中心として調査した結果である。本報告は昭和17年5月8日に脱稿したものであり、従って今日にあっては用語に妥当ならざるものを生ずるに至り、ここにこれらの用語の二・三の訂正を余儀なくされた。尙脱稿後より終戰までの間に、又終戰後にも蒐集した資料が可成あったのであるが結論を肯定するもののみで否定的の資料が無いのでこれら全部の追加はこれを見合せたが重要な事実は※印を附して註記した。戰前発表できなかった水路部の資料も戰後発表の自由を得たのでこの際、その若干を追加し、水路部の学術界に於ける貢献の一端を公にした。

筆者の最初の意図は各論として南洋群島各島を個別的に記載し（サイパン・テニアン・アギーグアン・ヤップ・パラオ・ポナペ・トラックは記載し発表済み）、然る後総論として本報告の如き体裁のものを書きたかったのであり、予告もし、その準備も進めていたのである。然るに国際情勢の変化は生命の安全が保証されず何時、如何なる時に不時の災難に逢うやも知れない情勢となったので、この困難の前にこれまでの結果をまとめ筆者の所見を後世に残したく、悲壮なる意氣込みを以って急速にペンを進めたものであった。従って内容を十分検討、吟味する機会なく、杜撰たるを免れなかった。

この報告をまとめあげ、ホットした氣持で南方諸島（ニューギネア等）の調査に再び出発したのであった。若し幸にして生命を保持するを得ば、順序は逆になるが残余の各島の詳しい記載を為して各論となし、これを公にして学界に多少でも寄与したく念願したのであった。然るに生命だけは僥倖にも保持するを得たがその資料（野帖・スケッチブック・海図・陸図・地質図・標本・写眞原版等）の殆ど全部がパラオに於て爆撃に逢い、灰燼に帰してしまった。この報を、最後まで守り続けた助手よりきかされた時は全く茫然自失、わが子を失った様な感があった。これらの資料は今日の筆者の立場に於ては再蒐集は極めて困難であり、不可能に近く、従って各島記載の公約を果し得なくなったのは残念至極である。唯僅かに大学の研究室に残さ

れた、標本と写眞の一部と、水路部に残された海図の一部（貴重なる資料の大部分は進駐軍により持ち去られた）のみを以て自ら慰める以外に道はない。

われわれは終戦と共に南方調査は断念を余儀なくされた。ところが意外にも進駐軍•通産省•燐礦開発会社の要請により、昭和25年1—2月に南洋群島アンガウル島調査の機会が与えられた。欣喜雀躍、現地に赴き、珊瑚礁に関する若干の新資料を集めることを得た。これらは結論を強化するものである故、※印を附して旧資料と区別して追記した。終戦直後、U. S. Geological Survey の技師であり、 G H Q Engineers Intelligence Section の一員である處の Dr. Sherman Neuschel, Dr. Miss Julia Gardner と珊瑚礁問題について論議する機会が与えられ、かつ又珊瑚礁に関する戰時中の文献の寄贈により、啓発される處があった。

尙、記載にあたり地名の英訳は米国水路部発行の “Gazetteer” No. 6(H. O. Pub. No. 886)によったがこれに載って無い處はヘボン式によらず日本式ローマ字で示した。

この研究は水路部・東北大学理学部地質学古生物学教室・南洋庁熱帯産業研究所・日本学術振興会の援助により為されたものであり、筆を進めるにあたり各当局者に深甚の謝意を表するものである。

Ⅱ 調査日程

昭和7年度

特務艦（測量艦）膠州（艦長小熊大佐）に便乗し、4月9日横須賀を出帆、水路部測量班（班長花田大尉）並に磁氣班（班長桑原新）と行動を共にし、マーシャル群島の各島及びマリアナ群島中のサイパン・ロタ・パガン・モウグ島とサップライ礁を調査、10月13日に横須賀帰着。

昭和8年度

特務艦膠州（艦長小西大佐）に便乗、水路部測量班並に磁氣班と行動を共にする。4月8日横須賀出帆、カロリン群島・ヤップーパラオ群島の各島及び沖ノ鳥島を調査、11月20日横須賀帰着。

昭和9年度

6月6日門司出帆、6月16日パラオ着、南洋の離島通いの交通船国光丸で7月9日パラオ出帆、トコベイ列島・西カロリン群島の各島を調査、9月5日パラオ帰着。南洋庁水産試験船瑞鳳丸に便乗、9月13日パラオ出帆、トコベイ→Sorong(New Guinea)→FakFak→Ambon→Gorong→Dobo→Arafura Sea→Samlaki→Buton→Makassar→Tawao→Menado→Ternate→Morotai→トコベイを経て11月8日パラオ帰着。11月11日パラオ出帆、11月15日サイパン着、サイパン・ロタ・テニアン島を調査、12月14日サイパン出帆、12月19日横浜帰着。

昭和11年度

8月8日横浜出帆、8月18日パラオ着。南洋庁のランチを以ってパラオ諸島南部の石灰岩島（ペリリュー・アンガウル・ウルクターブル・オロプシャカル等）、同北部のガジャングル・ガルアングル・バベルダオブ（パラオ本島）を調査。南洋興発会社の発動機船を以って南部マリアナ群島のサイパン・テニアン・ロタ・アギーグアン島を調査、12月30日横浜帰着。

昭和12年度

4月12日横浜出帆、4月19日パラオ着。5月12日パラオ発、サイパンより矢部長克博士と同道トラック・ポナペ・クサイ・ヤルートを調査、7月1日パラオ帰着。7月15日より11月21日までサイパン・テニアンにボーリングを下し地質並に地下水を調査、尚この期間中にこの近傍の島と礁を調査す。

昭和13年度

3月3日パラオ発、パラオ水産会社の第一パラオ丸で北部マリアナ群島調査、4月17日パラオ帰着。4月25日より7月17日までサイパン・テニアン・ロタの地質並に地下水調査。7月31日より遠藤誠道博士と同行バベルダオブ島を調査、9月4日パラオ帰着。9月21日より10月8日までヤップ島調査，10月9日より南洋拓殖会社の南星丸及び神州丸でカロリン群島の各島を

調査。昭和14年1月5日パラオ帰着。

昭和14年度

5月28日パラオ発、6月16日より7月4日までクサイ島調査。7月6日より9月19日まで全勝丸にてマーシャル群島の各島を調査。9月23日より11月22日までポナペ島調査、12月11日パラオ帰着。

昭和15年度

文部省の命により九州帝国大学の金平教授・初島助手と共に下記の日程でニューギネアの学術探検を為す。2月2日門司出帆、パラオ →Menado→Ternate→ Sorong→ Manokwari→ Nabire→Mt. Darman→ Nabire→ Wassior→Waren→ Momi→ Ransiki→ Rumberpon→ Waren→Anggi Lake→Waren→Manokwari→パラオ、神戸帰着5月7日。

7月22日パラオ発、7月26日より10月20日までトラック諸島の各島及びその南方離島を調査、10月26日より12月12日まで榮丸にてマーシャル群島（前年度の残りの島）を調査、12月28日パラオ帰着。

昭和16年度

7月22日パラオ出発、7月26日より9月9日まで水路部測量班（班長山川中佐）の測量艇でトラック諸島(前年度の残り)及び君島諸島を調査、9月15日より12月28日までクサイ島調査、17年1月4日パラオ帰着。

昭和17年度

2月1日パラオ出発、グァム島に立寄り2週間調査して内地に帰還。ニューギネアの大調査の計画を立てる。

（追　記）

昭和18年度

南方政務部のニューギネア学術調査隊長として1月12日より10月19日までニューギネア及びその周縁の島嶼を調査す。その行程下の如し。横浜→三池→パラオ→マノクワリ(調査根拠地)→モミ→ワンダメン半島→ナビレ→ヤーペン→マノクワリ→ルンベルポン→カプルス→マノクワリ→ビアク（望見）→ワクデ→ホーランディア→ヤーペン→マノクワリ→ソロン→ワルワライ→カバレイ→クナンブル半島→カマレイ→ワルワライ→ワイゲオ（望見）→ソロン→サマテ→バム→ソロン→セレ海峡→カラボク→コカス→イナワタン→ダラン・イリュート・セガフ(望見)→ファファンラップ→ガムタ→ガム川遡航→バハフホップ→ワイガマ（ミソール島）→ムシペヤル→サゲウィン水道→ソロン→マノクワリ→マンシナム・アンダイ→マノクワリ→パラオ→宇品。

昭和25年度

1月15日横浜出発、23日アンガウル島着、3月4日まで現地調査、3月12日横浜帰着。

Ⅲ 序　　　論

旧日本委任統治領南洋群島は、北はウラカス島（Pajaros or Uracas I.）（北緯 20° 32′）より南はグリーニッチ島（Greenwich I.）（北緯 1° 1′）に至るまで総てがいわゆる珊瑚海（Coral Sea）中に存在するものであり、造礁珊瑚の発育に必要な条件を十分に具有するものである。従ってここに珊瑚礁の良好なる発達が期待されるのであり、事実発達しているのである。

ここに珊瑚礁（Coral reef）とは造礁珊瑚（Reef building coral）を主体としそれに附加するに石灰藻・有孔虫等含石灰生物を以ってし、これらの遺骸の堆積によって形成された處の淺礁（Reef）であるとして以下論を進める。珊瑚礁こそ熱帯地形の一大特徴、一大偉観であり、これが熱帯地域の産業・交通等文化各般に直接に間接に影響を齎すことは自明の理である。

筆者は昭和7年以来今日(昭和17年5月8日)まで11箇年に亘り、南洋群島の各島を踏査し、珊瑚礁をつぶさに観察するの機会に恵まれたのである。各島の観察結果はその都度予報の形に於いて発表して来た處であるが、ここにこれまでの観察結果をまとめてその大要を発表し、あわせて既に発表のものの一部訂正を為し大方の御叱正を願わんとするものである。尚論述の対象は主として旧日本委任統治領南洋群島であるが、関係が親密なるものがあるので周縁の二・三の島嶼即ちグァム（Guam）・ウェィク（Wake）・ナウル（Naur）・オーシャン（Ocean）・南鳥島（Marcus）・沖ノ鳥島（Parece Vela）・マピア（Mapia）等をも含めた。このうちグァム・沖ノ鳥島以外の島々は実地踏査をしていないので記載は文献及び現地から帰った人からのきき込みによった。従って正確を欠くものであることを前以ってことわっておく。

Ⅳ 南洋群島の海底地形

南洋群島地域の海底地形の詳細は既に発表[43][55]してある故にこれを避けるが珊瑚礁問題に関係する處大なるものがある故その大要のみを以下に記述する（水深図参照）※。

（註）昭和11年12月刊行の日本近海水深図（段彩式）、昭和14年8月刊行の日本近海深淺図（田中吉郎博士創案の図法による）及び南洋海域の若干の海図を参照して 500m間隔の等深線図（附図第1）を作製し、これを通して海底地形の檢討をしたのであった。今日に於てはその後の新資料を加えて一段と精密な日本近海深淺図が編集されてある（参考図第6901号）。この図は 500m毎の等深線で描かれてあり、精密なものであるが読図に不便であるので 1,000m毎の等深線で描き直した。附図第2の等深線図が即ちこれである。読図の便宜のため 5,000m線を太線で描き、凹處には矢印を附した。1935年の等深線図（附図第1）と1951年の等深線図（附図第2）とを比較して、この間に如何に海底地形が明らかにされたかわかるであろう。前者を基とした海底地形の記載も又今日に於ては訂正を必要とすること又当然である。

A 海　　溝（Trench）

太平洋の海底地形の特徴の一はその周辺部に溝狀の凹地、即ち海溝 （Trench）又は舟狀海盆（Trough） の地帯の存在することである。特に西辺部に於て鮮明であり、規模も巨大である。しかもこれらが2系列に配置していることは注意すべきことである。その第1系列は日本群島南部・沖繩列島・台湾・フィリッピン・ハルマヘラの太平洋岸に接近して存在する海溝・舟狀海盆の一帯であり、**フィリッピン海溝**（Philippine Trench）がその盟主である。尙この海溝に於てケープ、ジョンソン号により 10,497m が記録されたのである。第2系列はカムチャッカ半島・千島列島・日本群島北半部・小笠原群島・マリアナ群島・ヤップーパラオ群島の南岸又は東岸に接して存在するものである。本系列の盟主は**日本海溝**（Japan Trench）であり最深 10,374m がラマポ号により、昭和8年4月に記録されている。尙海図を見る時は本海溝の斜面は著しく急の様であるが実際は然らず、海溝の西壁の急な處で平均傾斜 10°前後である。

ここに注意すべきことは日本海溝が徹頭徹尾最後まで日本群島に接しているのでなく本州中部即ち房総半島沖より日本群島を離れて南下し小笠原群島東岸沖に達していることである。この日本海溝の南端部を**小笠原海溝**（Ogasawara Trench）と言う。小笠原海溝の南方にあたり、北緯 24° より 10° に亘って弦月狀の一大海溝である處のマリアナ海溝あり更にその南西方に雁行的に配列してヤップ海溝（北緯10°—7°） とパラオ海溝（北緯8° 20′—5° 50′） の2

小海溝の存在を見る。

マリアナ海溝（Mariana Trench）は北緯 19° と 16° の 2 箇所に於ける浅所により 3 分され、中部において最も浅く、南部において最も深く 8,000m 以深のいわゆる海淵（Deep）の部分が広く、錘測による世界最深記録の 9,814m は実にわが軍艦満洲によりこの西端部において得られたのである。その近くで1951年チャレンジャー号が世界最深の 10,863mを記録した。この海溝の側壁は東西非対称であり西壁は常に急である。しかし急と称するもこれは相対的のものであり、実際は 10° 前後の緩かなものである。尚注意すべきことは海溝の中心線はマリアナ群島の島弧線と常に並行でなく、南北両端において接近し、中部において離れ、140M の遠きに達しているのである。要するに島弧より海溝の方が彎曲度が大であるのである。

ヤップ海溝（Yap Trench）はマリアナ海溝とは 4,000m の浅部を以って境し、その南西に続いている（陸上における谷中分水の如き形の接続である）。マリアナ海溝はその中心線が東方に凸部を向ける弧線で示されるに対し、ヤップ海溝は引きのばされたＳ字状である。最深は 8,010mであり、クッルー島（Ngulu I.）の東沖に位置する。側壁はマリアナ海溝と同様に西壁は急であるが、更に急であり傾斜は最急 22°、平均 11° である。

パラオ海溝（Palau Trench）はヤップ海溝と雁行的に配列し、その西方に位置し、略南北の方向をとり、僅かに東方に彎曲を示している。側壁は前二者と規を一にし西壁急で、最急18°を示している。注意すべきことはこの海溝の北端に近い處から一個の舟状海盆が北東方に分岐していることである。ヤップ・パラオ海溝の間にある故仮に**ヤップ—パラオ舟状海盆**（Yap-Palau Trough）と呼ぶ。パラオ海溝の最深は北端に近くあり 8,137mを示す。

パラオ海溝以南には最早海溝と称すべきものは無いが、前記海底の低地帯はトランシット礁（Transit Reef）の東側の深所を經てニューギネア北海岸に接して存在する**ニューギネア舟状海盆**（New Guinea Trough）に続くもののようである※。

（註）　現在、パラオ海溝の南にこれと雁行して1海溝あり水深6,000—5,000mを示していることが明にされている。この海溝の西壁上にはメリル島とヘレン礁とがあり、東側には 1 海嶺あり最浅520mを示す。この海溝を仮に**トコベイ海溝**(Tokobei or Tobi Trench)と称す。尚かつてヘレン礁の東方にトランシット礁が記載されてあったが今日はその存在が疑問視されている。

B 海　　嶺 (Submarine Ridge)

マリアナ・ヤップ・パラオの 3 海溝※を連ねる一線を境として南洋群島の海底地形、特に海嶺は東西においてその性質を異にするのを見るのである。

（註）　現在はトコベイ海溝を加えて 4 海溝となる。

1. 西部区域

マリアナ海溝の西側には東方に凸面を向けている彎曲した3条の海嶺あり西方のものほど彎曲度が小である。しかしてこれらが南北の両端で合着しているもののようである。西なるを第1マリアナ海嶺、中なるを第2マリアナ海嶺、東なるを第3マリアナ海嶺と称して来た。併し第4マリアナ海嶺の存在しないことが判明した今日、前3者を**西マリアナ海嶺**（West Mariana Ridge）・**中マリアナ海嶺**（Middle Mariana Ridge）・**東マリアナ海嶺**（East Mariana Ridge）と改名した方が妥当である。以下これを使用する。

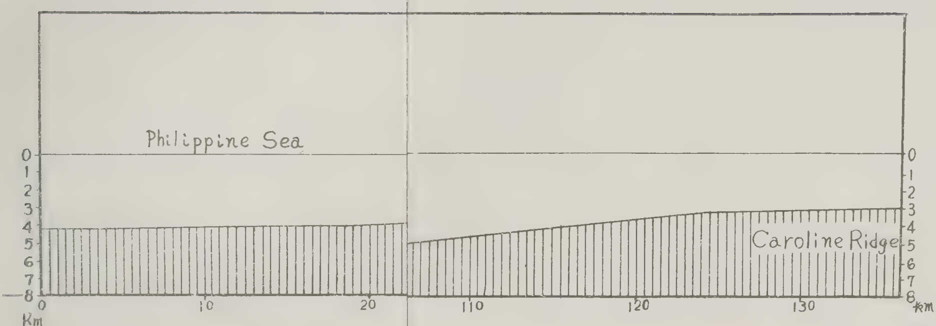
中マリアナ海嶺は**七島—硫黄島海嶺**（Sititō-Yuōzima Ridge）に続き、東マリアナ海嶺は小笠原海嶺（Ogasawara Ridge）に続くものである。中マリアナ海嶺は東マリアナ海嶺とは非常に密接し、両者の間隔は大体 45km であり、他方西マリアナ海嶺とはその間に半月狀の一大海盆（Basin）を挾む。これらの海嶺は大体 4,000—3,500m の深さの大洋底より膨起しその比高は 1,500—1,000mである。幅員は基部にて大体 110kmである。

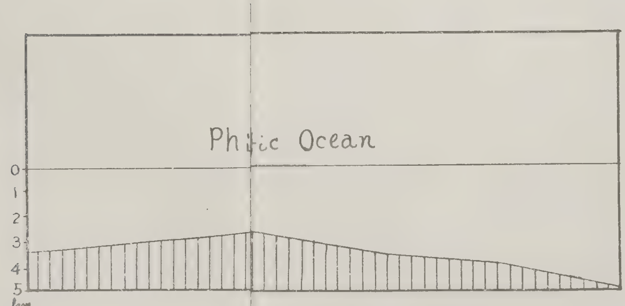
今少しくこれら海嶺の斜面を観察するに硫黄島海嶺は東側急、西側緩であるがこれより分派せる西マリアナ海嶺と中マリアナ海嶺とはその性質を踏襲せず前者にあっては東西対称的であり、後者にあっては反対に西側急、東側緩である。小笠原海嶺は西側急、東側緩であるがその連続と思考される東マリアナ海嶺にあっては反対に西側緩、東側急である。即ち斜面形は北緯23° の点を境としてその性質を変化しているのを見るのである。又著しいことは中マリアナ海嶺の東側にはマリアナ海溝との間に水深 3,000mから 4,000mに北から南に傾下する広大なる平坦面（幅員大体60M）が存在し、又東マリアナ海嶺の東側に水深 3,500m から 5,000m に北から南に傾下する三角形の緩斜面の存在することである。東マリアナ海嶺の南端部即ち、グァム近海においてのみ海嶺の斜面が即ち海溝の側壁となっているのである。これらの事実は海嶺及び海溝の形成の機構を考察する上に重要な資料を提供するものであろう。

ヤップ海溝の西壁を為すものは**ヤップ海嶺**（Yap Ridge）でありその頂の一部は海面上に現出している。これは弧狀海嶺であり凸面を東に向けている。基部における幅員 55km。その横断面形を観察するに第1図に見る如く東西非対称的であり、西斜面においては一様に傾斜急であり、しかも海面近く最も急であり、下方に行くに従って緩になっている。即ち海面より1,500mの深さまではその平均傾斜角 23°、1,500—3,500mは 10° である。併し 3,500m 以深は急激に傾斜を減じ緩傾斜で大洋底に移化しているのである。これに対し東斜面に於ては 1,500m までは比較的緩であって平均傾斜 13° である。然るにこれより以深に於て著しく急であり、ヤップ海溝の側壁となっているのである。その傾斜角は前述の如く 28° に達す。

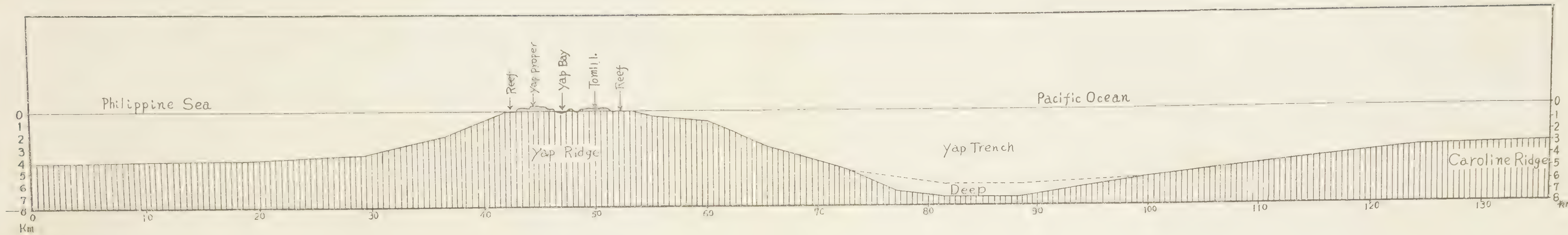
本海嶺の陸上部は後述の如く 200m に近い起伏を見るのであるがこれを海嶺全体より観察する時はこの起伏も見逼しても差支えないほどの小さなものであり、ここに1個の平坦面を想定することも不合理のことではない。

パラオ海溝の西壁を為すものは**パラオ海嶺**（Palau Ridge）であり、これが更に北方に延び

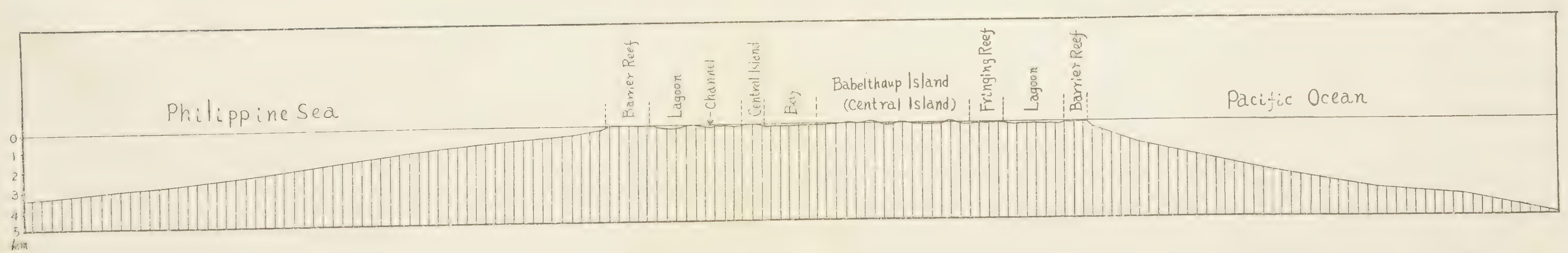

Philippine Sea
Caroline Ridge
0 1 2 3 4 5 6 7 8
0 10 20 110 120 130
Km


Ocean
0 1 2 3 4 5
km

第 1 図　(Fig. 1)
ヤップ海嶺の断面
Cross section of Yap Submarine Ridge



第 2 図　(Fig. 2)
パラオ海嶺の断面
Cross section of Palau Submarine Ridge



て**沖ノ鳥島海嶺** (Oki-no-Tori Sima Ridge or Parece Vela Ridge) となっている。パラオ海嶺はヤップ海嶺と類似の性質を有し、弧状海嶺であり凸面を東方に向ける。共に 5,000—4,000m の深さの大洋底上に立っている（第3図）。

パラオ海嶺の横断面形を見るに（第2図参照）、次の事実を知る。

(1) 海面より水深 600m位までの處では何處も急傾斜を示し、これより段々低下するに從って傾斜を減じている。

(2) 東西両斜面に於て傾斜の著るしい相異がある。即ち西斜面緩、東斜面急である。更に数量的に明示するならば 2,000mの深所は東斜面では距岸平均 6kmの處にあるに対し西斜面は平均17kmの地点にある。

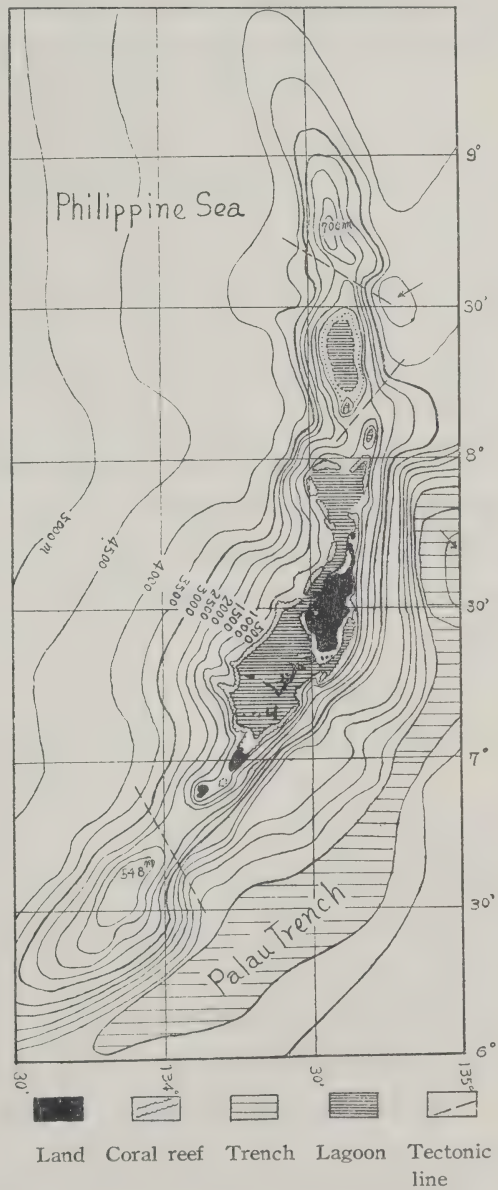
(3) 東斜面はその北部と南部に於てはそのまま直ちにパラオ海溝の西壁を為すものであるが、中部に於てはこの間に 3,500m より 4,500mに、北東より南西に傾斜する平坦面が存在する（第3図）。

(4) パラオ海嶺の陸上部はヤップ海嶺と同様 200m の起伏を見るのであるが海嶺全体より見る時は微々たるものであり、ここに1個の平坦面が想定されるのである。

第3図　(Fig. 3)

パラオ海嶺水深図

Bathymetric chart of Palau Submarine Ridge



沖ノ鳥島海嶺 (Parece Vela Ridge) ※ は前述の海嶺のように一続きの鮮明な海嶺でなく、多くの小海嶺と海峰・海丘とが一線上に配列しているものである。而して少なくも2箇所に於て 5,000m前後の水深を持つ鞍部が、この海嶺上に存在するもののようである。前述パラオ海嶺との間、北

緯 10°の地点にも 4,000mを越える深さの鞍部が存在する。この海嶺の北方延長の行方は不確実であり、**大東海嶺**（Daitō Ridge）に続くものと見られ、又大東海嶺と丁字形に交る1海嶺（最淺 270m）に連るものとも見られる。現在の處その方向の一致から 270m-海嶺に續き九州の南東岸沖に達するものと考えている。

（註）沖ノ鳥島海嶺は今日に於てはその輪廓が判然し、見事な海嶺であり宮崎県都井岬から前記の 270m-海嶺、沖ノ鳥島を經てパラオ海嶺の北端に続くものであることが明となった。即ち名実共に1個の海嶺であり、これによりフィリッピン海盆は縦に2分される。尚前記 5,000m 以深の鞍部はこの海嶺中に存在しないことが明となる。

パラオ海嶺とヤップ海嶺との間には雁行的に配列して2個の小海嶺が存在する。ヤップに近い方を**西ヤップ海嶺**（West Yap Ridge）、パラオに近い方を**東パラオ海嶺**（East Palau Ridge）※と呼んで来た。比高前者は 2,500m、後者は 1,500m である。この両小海嶺の間に前述のヤップ—パラオ舟状海盆が存在するのである。

（註）台地性の海嶺であり、かつ、この北に更に1個の海峰のあることが今日明にされている。

パラオ海嶺の南南西に當り海台性を帯びた海嶺が存在する。これを**トコベイ海嶺**（Tobi or Tokobei Ridge）※と称す。西側斜面が急であり、10° の傾斜を以って 5,000mの深さの大洋底に達している處があるが東斜面はこれとは趣を異にし、自然に傾下して後述の西カロリン海盆（West Caroline Basin）の底に移化している。

（註）トコベイ海嶺は今日に於ては更にその輪廓が判然し、海台性が薄く、名実共に海嶺の形態を示していることが明にされている。この海嶺と並行にトコベイ海溝を距ててその東に1海嶺のあることは前述した處である。この海嶺はその北端に於て、鞍部を距ててパラオ海嶺に対している。この海嶺を**東トコベイ海嶺**（East Tobi or East Tokobei Ridge）と名付ける。

問題はトコベイ海嶺の南端の行方※であり、或いはそのまま南方に延びて Waigeo I. の北方の Asia Islands（環礁）に連なるものの如く、或いは Mapia Is.（環礁）を通って New Guinea の Schouten Islands に連なるものの如く、或いは Morotai I. 東方沖の水深 1,990 mの海峰に続くもののようにも見える。現在の處最初の説を採用している。

（註）現在に於いては水深 4,000—3,500m の鞍部を距てて 1,990m 海峰に続くと見るのが妥当のようである。何となればここは他の處よりも淺い鞍部で連なっているからである。

以上七島—硫黄島海嶺より、マリアナ・ヤップ・パラオ海嶺を通りトコベイ海嶺に連続する一連の海嶺群と日本群島南部・沖縄群島・台湾・フィリッピン・ハルマヘラを連ねる群島群により西太平洋の一部が取り囲まれて存在する。この海域※をわれわれは**南日本海・フィリッピン**

海・マリアナ海等と称して来た。その輪廓は菱形であり長対角線は伊豆半島—モロタイ線、短対角線は台湾—サイパン線である。

（註）この菱形の海域は今日は国際的にフィリッピン海（Philippine Sea）と称することになっている。尙このフィリッピン海域には前記海嶺の外に南北大東島・沖大東島を載く、平面形でV字狀の大東海嶺が琉球海溝と沖ノ鳥島海嶺との間にある。又沖ノ鳥島海嶺と西マリアナ海嶺との間には南北の方向に配する海丘の列あり、その北端に近く紀南堆がある。その南端はヤップ海嶺に続くもののようである。

2. 東　部　区　域

東部区域にあっては西部区域に見るような鮮明な海嶺はこれを見るを得ないがここにも多数の海嶺と海峰、海丘を見ることができる。

ヤップ海溝の東側、北緯 5°—10°、東経 138°—156° に跨り 4,000m 以深の大洋底より立っている隆起帯が存在する。これを**カロリン海嶺**（Caroline Ridge）と称す。これは多数の並行海嶺の集合と見るべきものである。本海嶺は凸面を北東方に向ける弧狀の一大海嶺群であり、その幅実に 460km の大を示している。これら並行海嶺の間には並行に走る舟狀海盆又は凹地帯が当然存在する筈である。併し未だ測深点が疎であり、その輪廓を十分把捉し得ない。唯その西半部の一部に於て鮮明なるものが見られる。即ち本海嶺の中央線に沿うて舟狀海盆の列が存在し最深 4,859m を示している。東經 151° の經線に沿うて存在する 4,000m 以深の低地帯によりカロリン海嶺は東西の２海嶺に分たれる。**西カロリン海嶺**（West Caroline Ridge）（附図第６）にあっては組成海嶺が密集している結果として海台性を示し、東西 1,200km、南北370km、比高 2,500—2,000m であるに対し、**東カロリン海嶺**（East Caroline Ridge）は厳格なる意味の海嶺を為さず、いわゆる海嶺は一線上に配列する多数の海峰列により代表されているのである。この点両者の間に著しい相異が認められる。

尙西カロリン海嶺の南方に**西カロリン海台**（West Caroline Plateau）あり、比高 2,000m を示し、東カロリン海嶺の東方に**東カロリン海台（グリーニッチ海台）**（East Caroline or Greenwich Plateau）あり、比高 2,500m を示している。幅員は前者において 200M、後者に於て実に600Mの大に達している。

西カロリン海台の西方にはトコベイ海嶺※との間に正方形の輪廓を示す一大海盆が存在する。**西カロリン海盆**（West Caroline Basin）と称す。深さは 4,000—5,000m、その北縁は西カロリン海嶺であり、南縁は New Guinea 北岸の舟狀海盆に終っている。

（註）今日に於ては東トコベイ海嶺と改むべきである。尙この西カロリン海盆の最深部は東トコベイ海嶺に接している。

東西カロリン海台間には輪廓が U字狀の海盆が存在する。**東カロリン海盆**（East Caroline Basin）と称す。深さは西カロリン海盆と同様平均 4,000－5,000m であり、南縁に最深点あ

り 6,000m を越える。

カロリン海嶺の外方即ち北東方 460km の處に**マーシャル海嶺** (Marshall Ridge) あり、その性質は東カロリン海嶺に酷似し、海嶺としての性質鮮明を欠き、比高も 1,000—500m 程度の低いものである。この海嶺は並行弧狀海嶺であり、北東方に凸面を向けている。この海嶺には中心線に沿うて舟狀海盆あり、これにより内外の 2 海嶺に分たれる。內方のものを**ラリック海嶺** (Ralik Ridge)、外方のものを**ラタック海嶺** (Radak Ridge) と称す。尙ラタック海嶺は南方にのびて**ギルバート海嶺** (Gilbert Ridge) となる。ラリック海嶺の內側には淺いが大きい海盆がある。**ラリック海盆** (Ralik Basin) と称す。深さは 5,000m 前後である。マーシャル海嶺の西端は比較的急な傾斜を以って終り、5,500m の大洋底に臨んでいる。この處に於ては比高は 1,500 mである。

マーシャル海嶺の中部外側よりウェィク島 (Wake I.) 南鳥島 (Marcus I.) を經て小笠原海嶺の南端に向う一連の海峰・海丘列あり又その內側にこれと同心円的に配列する 1 条の海嶺と 4 条の海峰・海丘の列あり、その中心に 6,000m 前後の深度を有する**中央海盆** (Central Basin) (かつてカロリン海溝として知られたもの) を有す。中央海盆より数え第 2 列目のものは輪廓の鮮明なる海嶺であり、半円を描き北方に凸面を向ける。最淺 1,242m、比高 3,500m の高きに達している。その西の部分はマリアナ海溝に臨み、これを距てて東マリアナ海嶺に対している。筆者がかつて第 4 マリアナ海嶺と称したのは即ちこの部分である。この海嶺を**南中央海嶺** (South Central Ridge) と呼ぶことにする。

この南中央海嶺と同心円的に配列する 5 條の海峰・海丘列とを総称して広義の中央海嶺と称して来た。尙この中央海嶺の最北側に位置し、南鳥島・Wake I. を通る海嶺のみをさす場合にはこれを**南鳥島海嶺** (Minami-Tori Sima or Marcus Ridge) 又は**北中央海嶺** (North Central Ridge) ※ と呼ぶ。 尙 Wake I. の東方にあたり鮮明な海台あり、**ウェィク海台** (Wake Plateau) と呼ぶ。

(註) 第二次世界大戰中われらが予期した如く中央海嶺の海域に於て多数の平頂山 (Flat-topped seamount) 即ちグヨット (Guyot) が[94]発見された。これらは恐らく 6 條の中央海嶺中の何れかに属するものである。この海域の測深事業が進めば海峰・海丘・グヨット等が発見され中央海嶺そのものの輪廓が更に判然するであろう。

以上の海嶺を解り易く表示すれば次のようになる。

- 東部海嶺 (East Ridge)
  - カロリン海嶺 (Caroline R.) —— 西カロリン海嶺 (West Caroline R.) ——→ 東カロリン海嶺 (East Caroline R.)
  - マーシャル海嶺 (Marshall R.)
    - ラリック海嶺 (Ralik Ridge)
    - ラタック海嶺 (Radak Ridge) ——→ ギルバート海嶺 (Gilbert R.)
  - 中央海嶺 (Central R.)
    - 南中央海嶺 (South Central Ridge)
    - 北中央海嶺 (North Central Ridge)

- 西部海嶺 (West Ridge)
  - 七島—マリアナ海嶺 (Sititō-Mariana R.)
    - 七島海嶺→硫黄島海嶺 (Sititō R.) (Yuōzima R.)
      - 西マリアナ海嶺 (West Mariana R.)
      - 中マリアナ海嶺 (Middle Mariana R.)
    - →小笠原海嶺——→東マリアナ海嶺 (Ogasawara R.) (East Mariana R.)
  - ヤップ海嶺 (Yap Ridge)
    - ヤップ海嶺 (Yap Ridge)
    - 西ヤップ海嶺 (West Yap Ridge)
    - 東パラオ海嶺 (East Palau Ridge)
  - パラオ海嶺 (Palau Ridge)
    - 沖ノ鳥島海嶺—→パラオ海嶺 (Parece Vela R.) (Palau Ridge)
  - トコベイ海嶺 (Tobi Ridge)
    - 東トコベイ海嶺 (East Tobi Ridge)
    - トコベイ海嶺 (Tobi Ridge)

以上の記述で明瞭なように東西両区域に於て海底地形の格段の相異を認めることができる。即ち西部区域に於ては海嶺の見事な発達あり、しかもこれらが雁行的の配列を為し、各海嶺は何れも弧状を為し東方に凸面を向けている。これに対し東部区域に於ては海嶺はその輪廓鮮明ならず海峰・海丘の線状配列によって代表され、しかもこれらが同心円的の配列を為し凸面を北東方に向けている。前者は褶曲山脈の性質を、後者は火山脈の性質を有するものである。かつて吉井政敏博士[78]は岩石学の研究から西部区域のものは褶曲系、東部区域のものは地裂系であると称されたが味わうべき言葉である。又西部区域の海嶺はアジア大陸東縁部の構造と一致し、東部区域の海嶺はニューギネア（オーストラリア大陸の北縁部）の構造線と一致していることは注意すべきことである。尚西部区域の海嶺は全部がいわゆる安山岩線（Andesite line）内にあり、東部区域が全部その外にある。

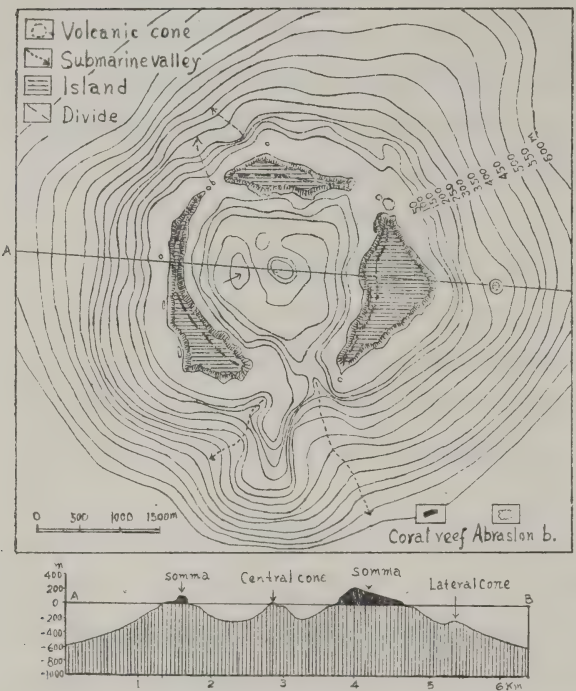
C 海　谷 (Submarine Valley)

以上の如く東西両区域に於て海底地形の性質を著しく異にしているのであるが、しかし両区域に於て共通の海底地形も見られるのである。その顕著なものの一つは巨大な海谷の存在することである。筆者等が[77]かつて日本群島周辺に於て例えば相模湾・富山湾・下淡水河・釧路川沖等に於て 700m の深さにまで達する巨大なる海谷の存在を報告したことがあるが同様の海谷を南洋群島の諸處に発見されるのである。勿論日本群島に比し南洋群島の各島は小であり、島棚の発達も極めて貧弱である故そこに発達する海谷も鮮明の度を欠き規模に於て小なることを免れないのは当然である。

第 4 圖　(Fig. 4)

モウグ火山の海底地形図

Submarine topography of Maug Volcano



西部区域に於いてはウラカス (Pajaros)・モウグ (Maug) (第4図)・アッソングソン (Asuncion)(第5図)・アグリガン(Agrihan)・アラマガン (Alamagan)・アナタハン (Anatahan) の如き火山島の斜面に見られ、アッソングソン島では最深 700mまで谷形の追跡ができる。又サイパン(Saipan) に於ても東西両斜面に比較的鮮明な海谷が存在し、500mの深さまで追跡ができる。ロタ及びテニアンにもそれらしきものが存在し、同様に 500m位まで谷形の追跡ができる。ヤップ・パラオの両島にも海谷らしきものが存在するが疑問の点がある。

東部区域においてはクサイとトラックに比較的鮮明なるものが存在し、前者において 500m、後者においては 1,000m まで谷形を追跡出来る。南洋群島中の大島で海谷の発達の未だ知られていないのはグァムとポナペの2島のみであるが、これらも測点が密になればその存在が明になることであろう。勿論これらの島には後述する如く上記海谷と性質を異にする溺谷が存在しているのである。尚南洋群島から離れるがこれに近接する New Guinea の北岸に於てマンベラモ (Mamberamo) 河の河口に鮮明なる海谷の発達が見られ少なくも 500mの深さまで谷形が追跡される。これらの海谷の形成の機構と時期に関しては資料の欠ける處あり、確信を以って発表し得る時期に未だ到達していないのを遺憾とする。

D　海　　段 (Submarine Terrace)

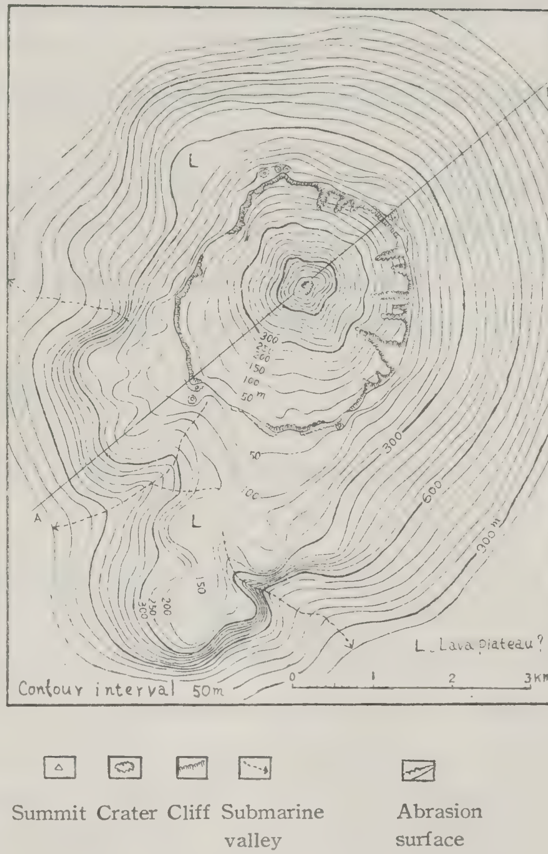
大陸棚 (Continental shelf) に相当する島棚 (Insular shelf) について観察するに珊瑚島に於いては後述する如く珊瑚礁の礁縁から直ちにいわゆる珊瑚斜面 (Coral slope) (一般に急傾斜を示している) になっているので島棚に相当するものがないのが普通である。中マリアナ海嶺上の火山島を見るに無礁のアッソングソン・グーグワン・サリグワンには無く、有礁の

開析のやや進んだ火山には一様に40m以淺の處に島棚と称すべきものが存在する。東マリアナ海嶺上の有礁の隆起珊瑚島には何れも10—50mの水深の處に島棚と称すべき平坦面が存在する。南洋群島にはこれら島棚より下位深所に階段狀の平坦面（海段）が存在し、中マリアナ海嶺の開析のやや進んだ火山島（パガン・アグリガン・アナタハン）には1段（水深大体100—200m）、東マリアナ海嶺の隆起珊瑚島（サイパン・テニアン・アギーグアン・ロタ）には2段（200—300m・300—600m）が認められる。又ヤップ海嶺に於いても2段(300—400m・400—600m)が区別される。

第5図　(Fig. 5)

アッソングソン島地形図

Topographic map of Asuncion Island



深海の測深密度は疎である故、深海の海段の存否は正確を欠くが、やや測深密度の密な島について見るに何れも断片的ではあるが、ヤップ海嶺のヤップでは900—1,000m、クッルーでは700—900m・900—1,000m、パラオ海嶺では1,100—1,300m、東カロリン海嶺上のトラックでは、1,000—1,200m、ポナペでは700—1,000m の處に平坦面が存在する。これら海段の成因に関しては現在の處資料に欠ける處あり、明言できないが火山島斜面のものの中には熔岩台もあると思考される。又隆起珊瑚島斜面のものの中には海底段丘と称すべきものもあろうし、断層地塊もあろう。※

（註）最近 Dr. H. S. Ladd 等によりマーシャル群島ビキンニ環礁の外洋斜面水深10尋の處に海底段丘の存在することが明にされている。

V 群島の區分と島・礁・堆の分布 （附表参照）

旧日本委任統治領南洋群島は一般にマリアナ（Mariana）・カロリン（Caroline）・マーシャル（Marshall）の3群島に区分されているが地形学的に又は地質学的に見る時はその区分は必ずしも妥当でない。筆者は海底地形に基礎をおき独自の区分をなし再三発表して来た次第である。(43)(65)

南洋群島の島・礁・堆は一見して雑然と散布している如くにして実は然らず、見事なる系統的の配列を為しているのである。即ち前記の海嶺上に整然と配置しているのである。従って群島の区分は1海嶺を1單元とする時最も合理的に為される。筆者はかくして下に述べる如く群島の区分を試みた次第である（附図第3）。

A 西 部 區 域

西マリアナ海嶺には島嶼なく、ただ2個の礁堆、即ち荒金礁（Aragane Reef)(水深17m)と 25m-堆とを見るのである※。

（註）現在は荒金礁（水深17m）の外に24m-堆と43m-堆とが知られている。将来更に多くの礁堆がこの海嶺上に発見される可能性が多い。

中マリアナ海嶺上には10個の火山島即ち北からウラカス（Uracas or Pajaros）・モウグ（Maug）・アッソングソン（Asuncion）・アグリガン（Agrihan）・パガン（Pagan）・アラマガン（Alamagan）・グーグワン（Guguan）・ジーランデヤ（Zealandia）・サリグワン（Sarigan）・アナタハン（Anatahan）と6個の礁がある。この内の2個はエスメラルダ洲(Esmeralda Bank）の北方に於て近年発見されたものである。北からサップライ礁(Supply Reef）・72m-Bank・42m-Bank・134m-Bank・北エスメラルダ洲（North Esmeralda Bank）・南エスメラルダ洲（South Esmeralda Bank）である。これらの島礁を**北部マリアナ群島**（North Mariana Group）又はウラカス列島（Pajaros Chain）と称す。

東マリアナ海嶺上には6個の隆起珊瑚礁即ちメディニージャ（Medinilla)・サイパン（Saipan）・テニアン（Tinian）・アギーグアン（Aguijan）・ロタ（Rota）・グァム（Guam）と4個の礁堆即ち北より52m-堆・ガルベス堆（Galvez Bank）・サンタローズ礁（Santa Rosa Reef）・45m-堆が存在する。尚テニアン島の南東沖3.5kmの處に巽礁(Tatsumi Reef)（最浅6.8m）なる1礁が存在するが、これはテニアン島の附属礁（断層により分離した礁）と見るべきである。またサイパン島の北東の52m-堆は近年発見されたものであり、将来もこの北方において浅堆の発見が期待される。これらの島・礁・堆はほとんど全部が一線上に配列し、ただ45m-堆のみが東方に離れている。これらの島礁を**南部マリアナ群島**（South Mariana

Group) 又は**サイパン列島** (Saipan Chain) と称す。

ヤップ海嶺上には北より1線に配列してハンター礁 (Hunter Bank)、大陸島として知られている處のヤップ諸島 (Yap Islands)、珊瑚島である處のクッルー島 (Ngulu I.) の3個の島礁あり、これを**ヤップ群島** (Yap Group) と称す。尙西ヤップ海嶺と東パラオ海嶺上には全く島・礁・堆を欠く。

パラオ海嶺 (第3図) 上には一線に配列して北よりベラスコ礁 (Velasco Reef)・ガルアングル島 (Ngaruangl I.) (珊瑚島)・ガジャングル諸島 (Ngajangel I.) (珊瑚島)・パラオ諸島 (Palau Is.) (火山岩島と隆起珊瑚島)・16m-礁・アンガウル島 (Angaur I.) (隆起珊瑚島) の6個の島礁あり、これをパラオ列島 (Palau Chain) 又は**パラオ群島** (Palau Group) と称す。尙沖ノ鳥島海嶺上の沖ノ鳥島を便宜上このパラオ群島に属せしめてある。

トコベイ海嶺上には6個の小珊瑚島あり、2列に配列する。內列にはパンナ (Fana)・ソンソル (Sonsorol)・プル (Pulo Anna)・トコベイ (Tobi or Tokobei)、外列にはメリル又はメリー (Merir)・ヘレン (Helen) が属す。前者を**ソンソル列島** (Sonsorol Chain)、後者を**メリル列島** (Merir Chain) と称し、両者を合して**トコベイ群島** (Tobi or Tokobei Group) と称す。

B 東部區域

西カロリン海嶺上には1個の隆起珊瑚島即ちフハエス島 (Fais I.) と20個の珊瑚島とがある。即ちウルシ (Ulithi)・フララップ (Falalop)・ロシャップ (Losiep)・グリメス (Gaferut)・フラアラップ (Faraulep)・オロール (Onon, Olol or Namonuito)・フィヤオ (West Fayu)・ピゲロット (Pikelot)・オノマライ又はオリマラオ (Olimarao or Namoliaour)・ポウラップ (Pulap)・ソロール (Sorol)・メレヨン又はオレアイ (Woleai or Mereyon)・フルック (Ifalik)・エラト (Elato)・トアス (Toas)・ナモチック (Lamotrek)・ササオン又はサタワル (Satawal)・エンダービー又はポロアット (Puluwat or Enderby)・ヨルピック (Eauripik)・シュック (Pulusuk) と38個の礁・堆即ちゾッホイイヨル礁 (Zohhouyoru Bank)・マク、ローリン堆 (Mc Laughlin Bank)・江陽堆 (Kōyō Bank)・最上堆 (Mogami Bank)・タラング堆 (Tarang Bank)・明石礁 (Akasi Reef)・アール、ダルハウシー堆 (EarlDal housie Bank)・オライチリップ堆 (Oraitilipu Bank)・コンドル礁 (Condor Reef)・松江堆 (Matsuye Bank)・新松江堆 (New Matsuye Bank)・11m-礁・グレーフェーザー堆 (Gray Feather Bank)・22m-礁・19m-礁・88m-礁・オノマライ北東礁 (NE. Olimarao Reef)・タラング礁 (Tarang Reef)・タラング南西礁 (SW. Tarang Reef)・ヒッチフィールド堆 (Hitchfield Bank)・ソロール南東礁 (SE. Sorol Reef)・ガメン礁 (Gamen Reef)・オライルグロン礁 (Orairuguron Reef)・

・淀礁（Yodo Reef）・淀南東礁（SE. Yodo Reef）・コンドル北西堆(NW. Condor Bank)・コンドル堆(Codor Bank)・エンダービー堆(Enderby Bank)・ウラニイ堆(Uranie Bank)・ウロア礁（Uloa Reef）・東ウロア礁（East Uloa Reef）・北マニラ礁（North Manila Reef）・中マニラ礁（Middle Manila Reef）・南マニラ礁（South Manila R.）・西ヤンジー洲（West Ianthe Shoal）・東ヤンジー洲（East Ianthe Shoal）（I・II・III）・レジーエルジン堆（Lady Elgin Bank）・ヘレネ洲(Helene Shoal)・23m-礁がある。これらを**西カロリン群島**（West Caroline Group）と総称する。これらが総て東西・北北東一南南西・北西一南東の3方向の数線上に配列しているのを見る。

東カロリン海嶺並に東カロリン海台上にはトラック(Truk)・ポナペ(Ponape)・クサイ(Kusaie)の3火山岩島と1個の隆起珊瑚島即ちナウル島(Nauru I.)と下記の18個の珊瑚島がある。ルクテー（East Fayu）・ノムウィン（Nomwin）・ムリロ（Murilo）・君島（Kuop）・オロルック（Oroluk）・パキン（Pakin）・アント（Ant）・モキール（Mokil）・ピンゲラップ（Pingelap）・ナマ（Nama）・ローソップ（Losap）・ナモールック（Namoluk）・ナチック（Ngatik）・サトウワン（Satawan）・エタール（Etal）・ルクノール（Lukunor）・ヌゴール（Nukuoro）・グリーニッチ（Greenwich）。尚ミント礁（Minto Reef）は干潮時には島と化す。これらの島々は3火山岩島と隆起珊瑚島を結ぶ弧線に並行な方向とこれに斜交する北西一南東方向の2線上に配列しているのである。これらの島群を**東カロリン群島**（East Caroline Group）と総称する。

ラリック海嶺上には13個の珊瑚島、即ちウォット（Wotho）・クエジェリン(Kwajalein)・ナモ（Namu）・アイリングラプラプ（Ailinglaplap）・ジャバット（Jabwot）・ヤルート（Jaluit）・エリップ（Lib）・キリー（Kili）・ウジラン（Ujelang）・ウジャエ（Ujae）・ラエ（Lae）・ナムリック（Namorik）・エボン（Ebon）と1個の隆起珊瑚島即ち（オーシャン島（Ocean I.）を見る。これらを**ラリック列島**（Ralik Chain）又は**ラリック群島**（Ralik Group）と称す。しかしてこれらが大体弧状の3線上に配列しているのである。

ラタック海嶺上には18個の珊瑚島、即ちウートロック（Utirik）・タケ（Taka or Take）・メジチ（Mejit）・エニウェタック又はブラウン（Eniwetok or Brown）・ピキンニ（Bikini）・ロンゴラップ（Rongelap）・ロンギリック（Rongerik）・チェモ（Jemo）・ウォッチェ（Wotje）・マロエラップ（Maloelap）・アルノ（Arno）・ミレ（Mille）・ナーリキリック（Knox or Narik）・アイリギンアエ（Ailinginae）・リキエップ（Likiep）・エルクップ（Erikub）・アウル（Aur）・メジュロ（Majuro）あり、他に1個の堆（キーツ堆）（Keats Bank）を見る。これらを総称して**ラタック群島**（Radak Group）又は**ラタック列島**（Radak Chain）と称す。ラリック同様3條の並行弧線上に配列しているのを見る。

北中央海嶺上には北西より南鳥島(Marcus)・ウェィク（Wake）・ボカアック（Taongi）

・ビカール (Bikar) ・アイルック (Ailuk) の5珊瑚島がある。**中央列島** (Central Chain) 又は**中央群島** (Central Group) と称す。尚後3者は従来一般的にラタック列島中に編入されているものである。又南鳥島は北緯 24° に位置し、現在熱帯圏外にあるが珊瑚島であり、構造上本群島に入るべきものであると信ずる。現在水面上に現出しているものは以上の5個に過ぎないが北部マリアナ海嶺上の2個（504m-堆と283m-堆）を除いては他の海嶺に見られない比較的浅い深度（大体1,000m以浅）の海峰を3個もこの群島の島列中に見るのである。即ち小笠原の東、東経 145° 30′ の1,016m-海峰、南鳥島の西、東経 150° の 968m-海峰、同じく東、東経 161° の 957m-海峰がこれである。恐らく将来この海嶺上に於て更に多くの海峰が発見されることであろう※。

（註）その後予期の如く小笠原と 1,016m-海峰との間に 606m-海峰、南鳥島の北西 90Mの処に 976m の海峰が発見された。これらはグヨットの性質を有するものかも知れない。

以上を表示すれば次の如し。

- 南洋群島 (South Sea Is.)
  - 西部群島 (West Group)
    - (1) マリアナ群島 (Mariana Group)
      - (1) 北部マリアナ群島 (North Mariana Group) 又は ウラカス列島 (Uracas or Pajaros Chain)
      - (2) 南部マリアナ群島 (South Mariana Group) 又は サイパン列島 (Saipan Chain)
    - (2) ヤップ―パラオ―群島 (Yap-Palau Group)
      - (3) ヤップ群島 (Yap Group)
      - (4) パラオ群島 (Palau Group) 又は パラオ列島 (Palau Chain)
      - (5) トコベイ群島 (Tobi Group)
        - ソンソル列島 (Sonsorol Chain)
        - メリル列島 (Merir Chain)
  - 東部群島 (East Group)
    - (3) カロリン群島 (Caroline G.)
      - (6) 西カロリン群島 (West Caroline Group)
      - (7) 東カロリン群島 (East Caroline Group)
    - (4) マーシャル群島 (Marshall G.)
      - (8) ラリック群島 (Ralik Group) 又は ラリック列島 (Ralik Chain)
      - (9) ラタック群島 (Radak Group) 又は ラタック列島 (Radak Chain)
    - (5) 中央群島 (Central G.)

以上要するに南洋群島は地形学・地質学の立場からはマリアナ・カロリン・マーシャルの 3

大群島に分たずにマリアナ・ヤップーパラオ・カロリン・マーシャル・中央の５大群島に分ち、更に細くは北部マリアナ以下中央群島までの10群島に分つべきであると思考される。このことは以下の記載によって更に判然するであろう。

Ⅵ南洋群島の地形

A 北部マリアナ群島 (North Mariana Group)[56]

本群島の島（北からウラカス・モウグ・アッソングソン(第5図)・アグリガン・パガン（附図第4)・アラマガン・グーグワン・ジーランデヤ・サリグワン・アナタハン）と礁・堆（サップライ礁・エスメラルダ洲の如き）の全部は何れも火山島又は海底火山であり、これらの地形を通覧して次の事実を知ることができる。

1. 火　山　組　成

各火山島は1—3個の火山体より成り、各火山体は又單純火山で無く、殆んど全部が複式火山の形態を取っている。側火山はパガン島の北岳火山に於いて10個の多きを見るが、その他の火山に於いては殆んどそれを欠いている（第6図)。

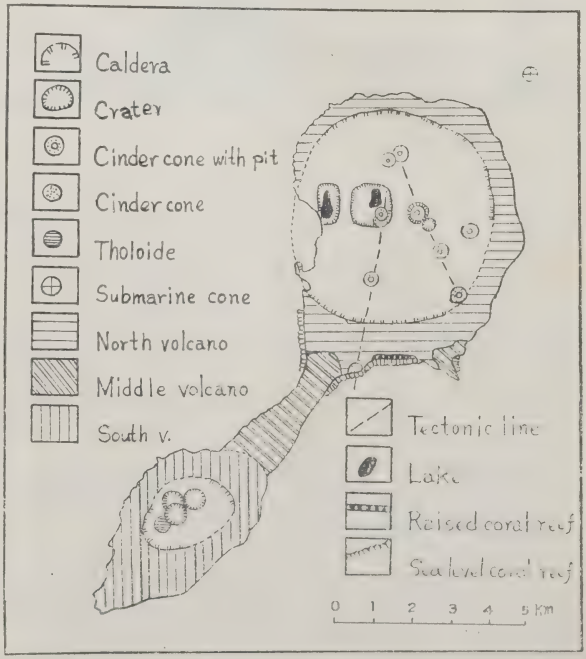
2. 火　山　形　態

アナタハン火山とモウグ火山とは海面上の姿のみを見る時はホマーテ(Homate)であり（第4図）、その他の火山は総てコニーデ (Konide) である。しかして大洋底よりの全火山体を考慮に入れる時はアナタハン・モウグ両火山もまたコニーデに属す。サリグワン火山の中央火口丘とパガンの南岳火山の中央火口丘の一つとはトロイデ(Tholoide) の形態をとっている。

3. 肢　節

水平的肢節はモウグを除いては極めて貧弱である。垂直的の肢節は大であり、アグリガンにて海抜 965 m（南洋群島中の最高峰)、アッソングソンにて 891 mであり、これは大洋底より起算する時は 4,000m に近く富士山を凌駕するものがある。

第 6 図　(Fig. 6)
パガン火山
Pagan Volcano

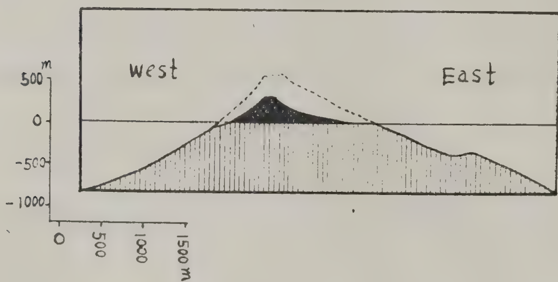


第 7 図　(Fig.7)

ウラカス火山の斷面図

Profile of Uracas Volcano

Showing contrast in east and west slopes

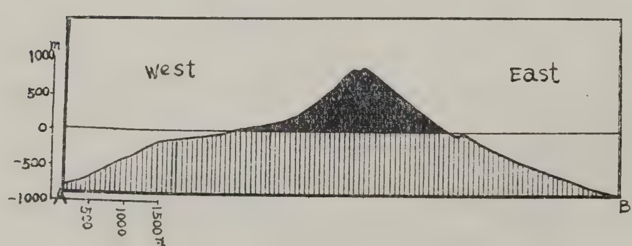


第 8 図　(Fig. 8)

アッソングソン火山の断面図

Profile of Asuncion Volcano

Showing contrast in east and west slopes

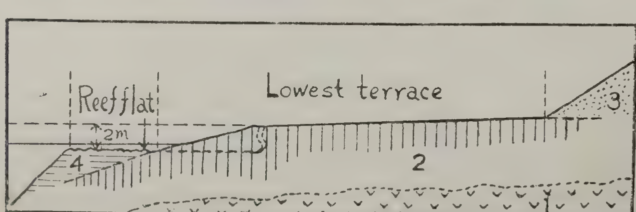


第 9 図　(Fig. 9)

パ ガ ン 島 の 隆 起 珊 瑚 礁

Profile of coast of Pagan Island

Showing relation of Pagan L.S.and raised beach deposits



1. Volcanic r.　2. Pagan Limestone (raised coral reef)
3. Raised beach deposits　4. Sea level coral reef

4. 地形發達

火山の地形発達の狀態を見るに中央火口丘の全部は原地形を保持し、外輪山の大部分は幼年期にあり、放射谷間に原面の残存を見る。しかして少数の外輪山（アナタハン・アグリガンの如き）は開析をうけ早壯年期に入らんとしている。放射谷は大火山のみに発達し、全部がそこに間歇河を見る。永久河が見られない。

5. 火山斜面

火山島の斜面を見るに北方の３火山（ウラカス・サップライ・モウグ）では最大傾斜を示すは西側であり（第７図）、それより南の火山にあっては一様に東側である（第８図）。これは火山の載っている海嶺の地盤運動の結果であると見るのが妥当であると思惟されるのである。

6. 海　岸

総ての火山はその周囲に程度の差こそあれ海崖の発達あり、海岸平野の発達は極めて貧弱である。僅かにパガン・アグリガンにやや著しいもののあるのを除いては殆んどこれを見ない。

巨礫の浜が海崖の前面又は海崖を切る小谷の處にあるのを普通とする。

7. 隆　起　地　形

本群島には最近の土地の隆起を指示する地形に乏しく、僅かに次の2を擧げるに過ぎない。即ちモウグには高潮面上 1mの隆起海蝕台あり、パガン島東岸には隆起珊瑚礁あり（第9図)、その高さは高潮面上 0.5 mである。

尙海崖の平滑なる岩石面上には無数の小孔が穿たれ、特に海面上 2—3 m位の處までは最も多く小孔が密集し、蜂窩狀を呈しているのを見る。これは一見穿孔貝の跡を思わしめるものがあるが、非常に高位置にあるものもあり、かつ不規則の配列と直徑の大に比し深さ（奥行）の小なる事実等から推して穿孔貝起因を全的に肯定し得ない。潮風による侵蝕の結果と見るのが妥当である。

8. 沈　降　地　形

本群島には最近の沈降の確固たる証拠をあげ得ない。即ち海岸線は單調であり、溺谷を発見し得ない。ただ熔岩の末端の割目に沿って峽谷狀の小灣入あり、岩壁が懸崖を為しているのを二・三の火山島において見ることができるがこれを以って直ちに溺谷とは同定し得ない。しかしやや古期のやや規模の大なる沈降を暗示するような地形はこれを見ることができる。即ち海底斜面を見るにウラカス・モウグ・アッソングソン・アグリガン・アラマガン・アナタハンの諸島においては過去の放射谷を暗示するような溝狀低地帶が火山体の斜面に存在している。これ現火山の前身である處の旧火山の放射谷か（第4・5図）。

9. 湖　沼

パガンの北岳火山西斜面に東西に並ぶ2湖あり、共に火口湖であり、その水は海に通じ海面と湖面とは一致している。水深は大でない。即ち西湖は距岸50mにして水深 20 m、東湖は最深 16 m である（第6図）。

B 南部マリアナ群島（South Mariana Group）

地形はメディニージャ・サイパン[56]・テニアン[49]・アギーグアン[63]・ロタ・グァムの各島において相異することは勿論であるが又多くの共通点を有しているのである。以下少しく本群島の地形的特質を列記して見よう。

1. 肢　節

水平的にも、垂直的にも肢節に乏しい。最高はロタ島のマニラ山（Mt. Manila）において 496.5m である。

2. 灣　入

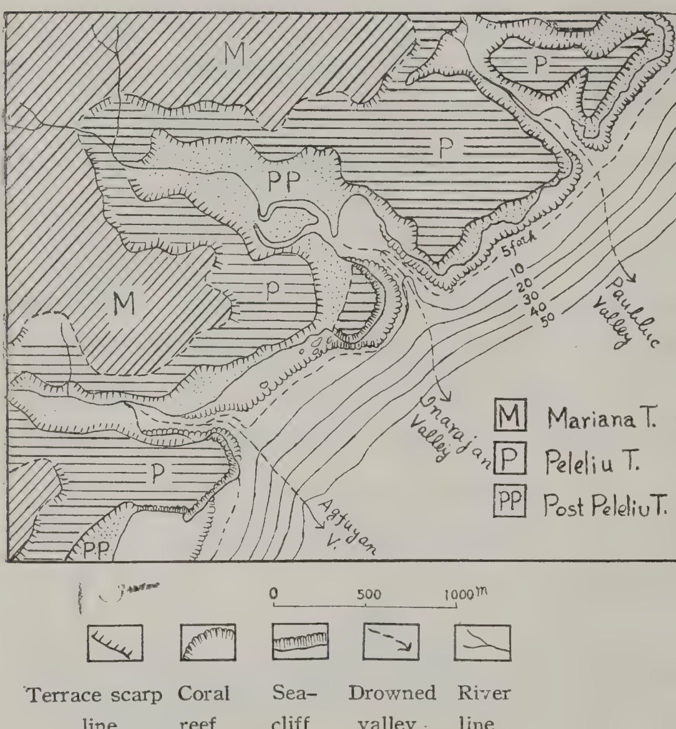
海岸線は單調であり、灣入はあれど何れも奥行の淺い弧狀のいわゆる陷落型の灣入であり、奥行の深い樹枝狀の溺谷型の灣入即ちリアス式の灣入の発達は著しく不良であり、僅かにグァ

ム島南部のタロホホ湾（Talofofo Bay）を最大とする（第10図）。

第 10 図　(Fig. 10)

グァム島イナラハン区域の段丘と溺谷

Map showing terraces and drowned valleys of Inarajan District, Guam Island



3. 海崖と海岸平野

海岸は石灰岩の断崖である場合が多く、崖高最大グァムにおいて 180 m、サイパンにおいて 130 mに達す。海岸平野の発達は寧ろ貧弱である。ただサイパン島西岸において海岸平野が例外的に良好の発達を示す。海崖と海岸平野は共に東西両斜面において非対称的の発達を示し、前者は東海岸に良好なる発達を示し、後者は西海岸に良好なる発達を示す。海岸平野は多くの場合砂浜を以って海に臨んでいる。一部に礫浜がある。

4. ノッチ（Notch）

海崖には高さを異にする 1—3 段のノッチが刻まれてある（第 11 図）。最下のノッチは海崖の基部にあり、連続的に発達し現在の水準において形成されたものである。しかして又この下位ノッチは二重ノッチ（Double notch）の形態をとる場合がある（第12図）。中段のノッチは礁原（Reef-flat）上 2 m前後の處にあり、ロタにおいて最高 4 mに達している。上段のノッチは前 2 者に比し著しく断片的であり、その高さは大体礁原上 5—10 mの處にある。グァムにおいて最高 20 mを示す。ノッチの奥行は低位のものほど大であり、下位ノッチの奥行は大体 2—3 mである。下位ノッチは又海蝕洞に続く（第 54 図A）。

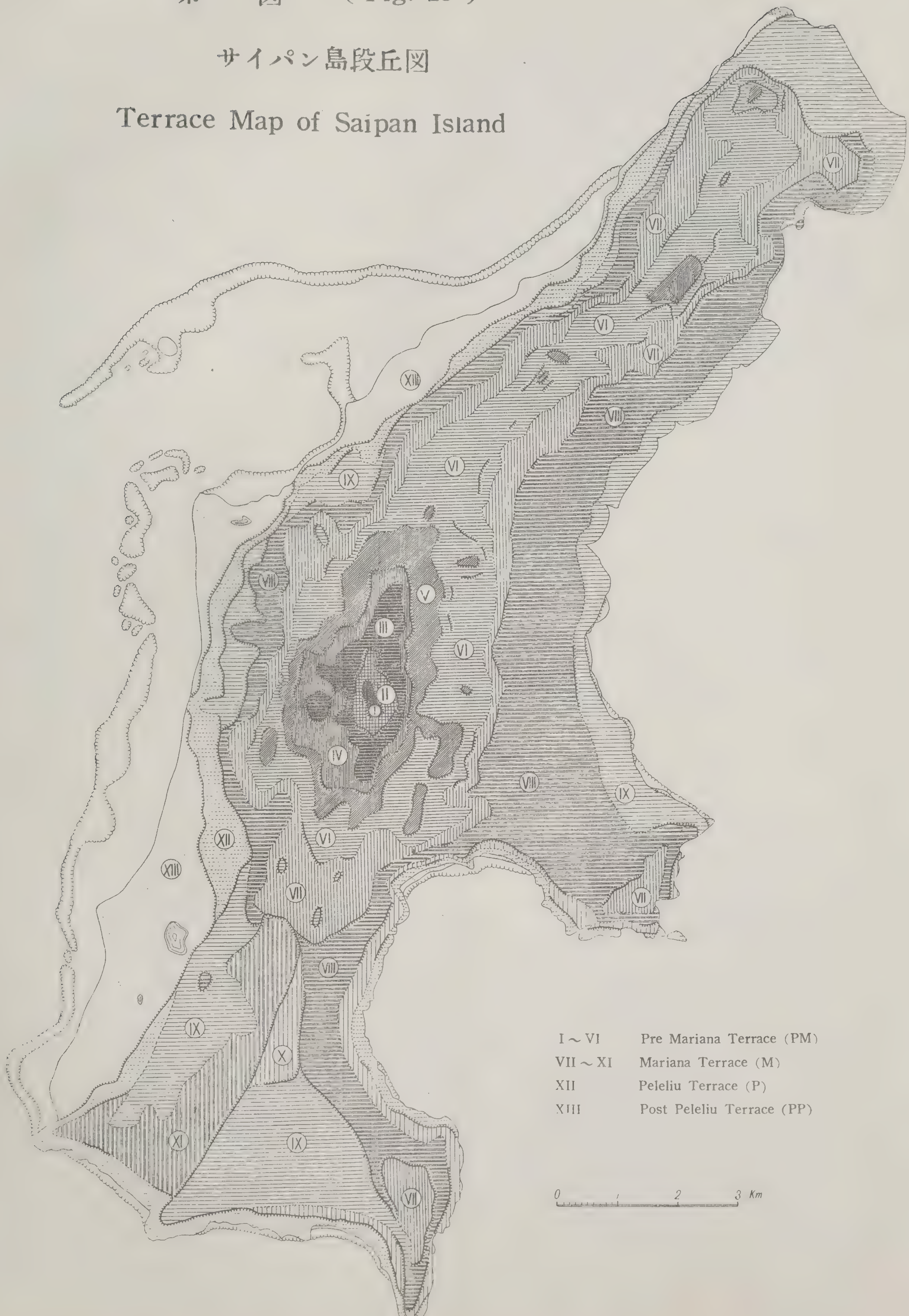
5. 段　丘[(59)]

平坦面の発達は著るしく良好であり、山頂の平坦面より礁原の平坦面に達するまでの間に数段の平坦面を数うることができる。即ちメディニージャにて 3 段、サイパンにて14段(第 15 図)、

第 15 図　（Fig. 15）

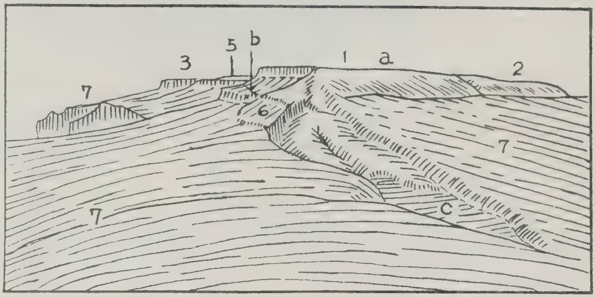
サイパン島段丘図

Terrace Map of Saipan Island



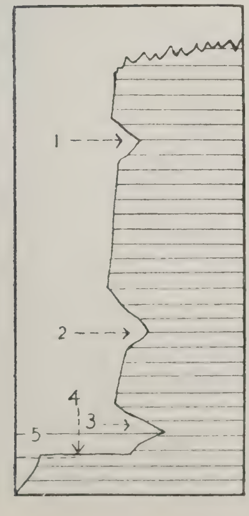
テニアンにて9段（第13・14図）、アギーグアンにて8段、ロタにて14段、グァムにて13段（第10図）の多きを数えることができる。しかして面の形成の時代、面の性質（侵蝕面か、堆積面か）、面の開析度、段丘崖線の連続性等を考慮に入れる時、これらの段丘は古期のものより、**PM段丘**（前マリアナ段丘）(Pre-Mariana Terrace)・**M段丘**（マリアナ段丘）(Mariana Terrace)・**P段丘**（ペリリュー段丘）・**PP段丘**（後ペリリュー段丘）(Post-Peleliu Terrace) の4段丘に大別される。各段丘の高度と対比とは第1表に示す如くである。尚段丘の対比と分類に関しては後章で詳述するがテニアン・アギーグアン・ロタ・グァムの全段丘及びサイパン島の 130m以下の面は地形的に又地質的にサイパン島の 200 m 以上の面とは区別されるべきものである（第15図）（第1表）。

第14図 (Fig. 14)
マルポ丘陵南端からカロリナス丘陵を望む
Carolinas Hill viewed from south end of Marpo Hill, Tinian, showing terraces.



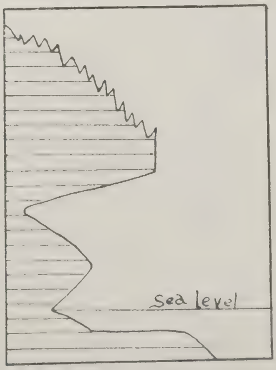
1 I ～Terrace　2. II ～Terrace　3. III～Terrace
5. V～Terrace　6. VI～Terrace　7. VII～Terrace
a. Carolinas Hill　b. Lion Rock　c. Marpo Basin

第11図 (Fig. 11)
サイパン島海崖のノッチ
Sea-cliff of Saipan I. showing notches



1. Upper notch
2. Middle notch
3. Lower notch
4. Reef-flat
5. Sea level

第12図 (Fig.. 12)
サイパン島海崖の二重ノッチ
Double notch in sea-cliff of Saipan I.



第 13 図　(Fig. 13)

マルポ丘陵北端からラソー山を望む

Mt. Lasso viewed from north end of Marpo Hill, Tinian, showing terraces



1. I～Terrace (Mt. Lasso)　2. II～Terrace　3. III～Terrace
5. V～Terrace　6. VI～Terrace　8. VIII～Terrace　9. IX～Terrace

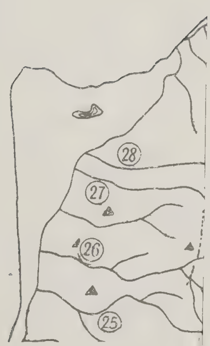
第 1 表

南部マリアナ群島段丘対比表（数字は段丘の高さの概数をメートルで示す）

段丘	島	メディニージャ	サイパン	テニアン	アギーグアン	ロタ	グァム
PM_1	I		460				
			440				
	II		350				
PM_2	III		300				
			250				
	IV		200				
M_1	V					500	410
	VI					480	370
	VII					420	300
	VIII					340	240
M_2	IX			170	180	240	180
		80	130	150	160	180	150
	X	50	90	110	150～130	140	120
			60	80	110～ 90	100	90
			40	60	80	80	60
	XI	20～15	30	45	45～40	60	
P	XII		20	25	30～20	40	35
						20	20
				10	10～ 8	15～10	10～ 6
PP	XIII		5			5	4
	XIV		2	2		3	2

PM—前マリアナ段丘、M—マリアナ段丘、P—ペリリュー段丘、PP—後ペリリュー段丘

Map showin



第16図　(Fig. 16)

サイパン島谷系図

Map showing valley system of Saipan Island



河谷名（仮称）

1
2
3 カラベラ谷
4
5 イナナス川
6 北タロホホ川
7 ハシゴル川
8
9
10 東タロホホ川
11 ドンニー川
12 チャッチャ川
13 ハグマン谷
14
15
16 ラウラウ谷
17 トトラン谷
18 ダンダン谷
19 北ナフタン谷
20 南ナフタン谷
21 チャランダンダン谷
22 カナルイエッド谷
23 チャランラウラウ谷
24
25 カナルダブラ谷
26 ダワロライ谷
27
28
29
30 サドクターシ谷
31
32 タナパコ谷
33
34 マタンシャ谷
35
36 マドイス川
37 アスベルデード谷

古期段丘（P M）はサイパンのみにその存在が知られており、新期段丘（M,P, PP）はロタに於て最高を示し北方と南方とに向ってその高度を減じている。次に段丘の水平分布を見るに次の事実を知る。即ち低位の P,PP 段丘は全島を囲繞して発達しているがこれより古期即ち高位のM段丘は東西又は南北に於て必ずしも対称的の発達を示していない。

6. 河　谷

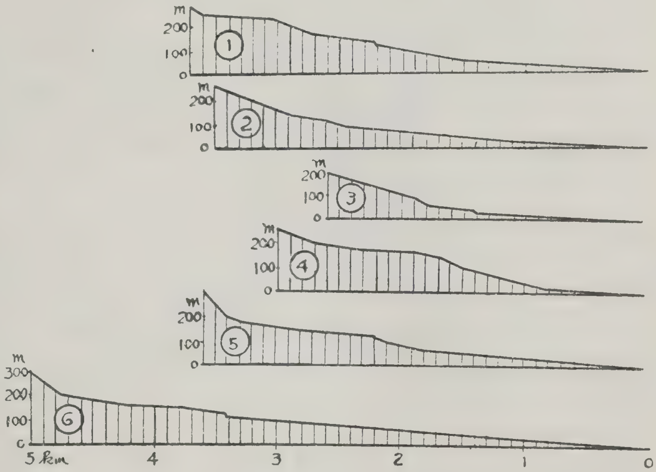
グァム•サイパン島を除く他の島に於ては河谷の発達は著しく不良であり、メディニージャ•テニアン•アギーグアンには全くこれを欠いている。サイパン•グァム両島においては可成河谷の発達あり、その分布状態を見るに火山岩地域には石灰岩地域に比し、谷の密度は大である(第16図)。石灰岩地域を流走する河は多くは間歇河であり、永久河は僅かに一•二に過ぎない。

河谷の横断面形を見るに石灰岩地域にあっては垂直壁を有する峡谷を為し、火山岩地域にあってはV字谷を為している。縦断面形を見るに平衡状態に達している河谷は全く無く（第17図）、中流部に瀧又は急潭が見られ、下流部に於て1—2mの下刻を見る。河谷の大部分は必従谷であるが長大の河谷の多くは適従谷である。

第 17 図　(Fig. 17)

サイパン島河谷の縦断面形

Longitudinal sections of valleys of Saipan I.



1. Kanaruieddo R.　2. Sadokutashii R.　3. North Tarohoho R.
4. Hashigoru R.　5. Donnay R.　6. Chatcha R.

7. カルスト地形

各島は何れも主として石灰岩より構成されている故に、ここにカルスト地形の発達が期待される。 事実カルスト地形を見るのであるがその発達の状態は各島に於て同一でない。 ドリネ (Doline) はグァム•サイパンにおいて最も標式的に発達し（第16図)、テニアンこれに次ぎ、ロタ•アギーグアン•メディニージャにはほとんどこれを見ない。

石灰洞は各島に見られ特に古来有名なのはサイパンのカラベラ洞窟(Kalapera Cave）とロタの神威洞である。ラピエ（Lapié）は各島に共通に発達するも大規模のものはない。但しサイパンの燐礦採掘跡には相当大なるものがある。小規模のものは海崖上の低位段丘面に最もよく発達している。

8. 湖　沼

湖沼はサイパンに2個(ポンタムチョウ池とチャランカノア池)(Mutcho Pond and Charan-kanoa Marsh)、テニアンに2個(マルポ池とハゴイ池) (Parapo or Marpo Pond and Ha-goi Pond) あり、 前者は海岸平野の砂地上にあり、後者は石灰岩地域中にある。マルポ池はドリネ中に水を湛えたもの、その他は過去の礁湖 (Lagoon) の名残であると思考されるものである。

9. 惡 地 地 形

集塊岩及び凝灰岩地帯には全く草木の被覆なき惡地の地形が現出している。グァム島の南部非石灰岩地帯にその著しいものがあり、サイパン島電信山東斜面にもその小規模のものが存在する。側壁急、谷底広濶平坦のカール (Kar) 状地形の集合であり、稜線は刀の刄状である。全地帯赤褐色を呈し、紅土 (Laterite) 、ボーキサイト (Bauxite) の発達を見る。

10. 紅 樹 林 (Mangrove)

熱帯特有の紅樹林はメディニージャ・テニアン・アギーグアン・ロタには全くなくサイパンにおいてはサドクターシ (Sadokutashii) の小湾入部に僅かにその生長を見るのみである。グァムにおいては北部の石灰岩地帯には全くなく、南部の非石灰岩地帯に相当に発達を示しアプラ湾岸 (Apra Bay) ・メリゾ海岸 (Merizo Coast) はこれにより厚く保護されている。

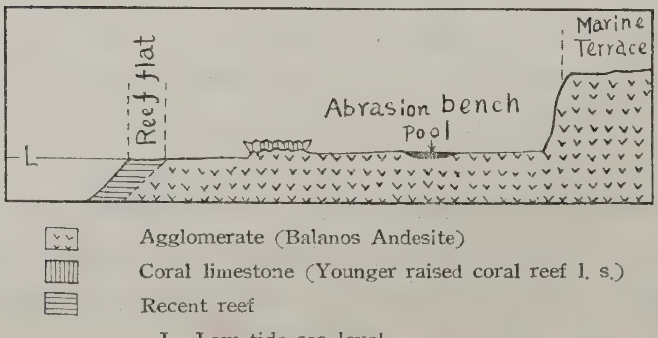
11. 海 蝕 面

海崖下にはその下に海岸平野のない處では広狭の差こそあれ、常に海蝕面の発達を見る。石灰岩の海崖下には狭く、火山岩特に集塊岩、凝灰岩の海崖下には広い。グァム島南部西海岸ウマタック (Umatac) 近傍において最大の発達を示し、海蝕面の幅が100mに達する(第18図)。海崖の崖高と海蝕面の幅との間には大体において正比例の關係が存在するが必らずしも然らず。

第 18 図　(Fig. 18)

グァム島イナラハン海岸の海蝕台

Profile of abrasion bench of Inarajan, Guam I.



C ヤップ群島 (Yap Group)(47) (53)

本群島の盟主たるヤップ諸島 (Yap Islands) に就いてその地形の大要を以下述べる。ヤップ諸島はヤップ本島 (Yap Proper) ・トミル島(Tomil I.) ・マップ島 (Map I.) ・ルムング島 (Rumung I.)から構成され、一続きの珊瑚礁により囲繞されているものである。尚トミル島は独領時代にヤップ本島から人工のヤップ水道 (タゲレン運河) (Yap or Tageren Canal)により引離されたものである (附図第5)。

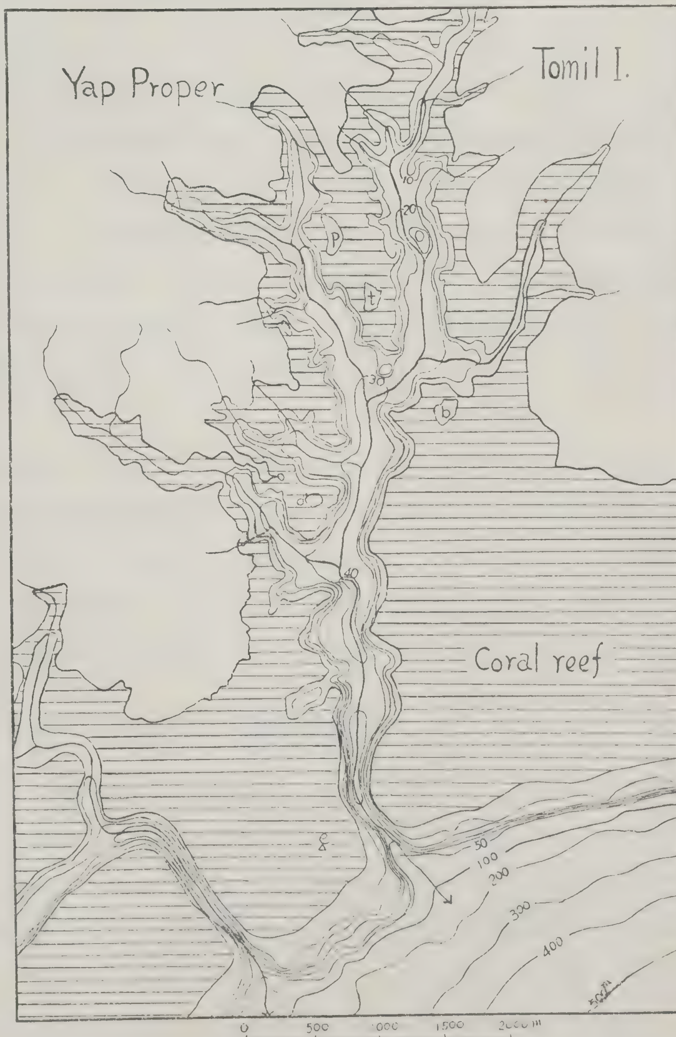
1. 肢 節

水平的の肢節に富むが垂直的肢節は貧弱である。高さは最高のギリフィツ (Gillifitz) 山においてさえ178mに過ぎない。

2. 溺 谷

海岸線は屈曲に富み、多くの湾入と附属島とを見る。しかして湾入は何れもリアス式の樹枝状溺谷の形態を保持している。ヤップ湾 (トミル湾とも称す) はこの好例である (第19図) (第20図)。本溺谷はヤップ港口の處に谷中分水あり水深30mを示す。

第19図 (Fig. 19)
ヤップ港、溺谷の例
Yap Harbour ; an example of drowned valley



p. Pekel Island t. Tarang I. b. Bi I. d. Donitsch I. e. Entrance Rock

これより上流部の谷底は緩傾斜を示し、最深45m、これより下流部は急傾斜を示し、懸谷の形において外洋斜面を切っている。しかして70mの深度まで明瞭に谷形を追跡することができる。

3. 海岸平野

海岸のほとんど全部特に湾入部は紅樹林により保護されており、その背後には広狭の差こそあれ、海岸平野が連続的に全岸に発達している。特にマップ島の東岸、ヤップ島の南北両岸においてその幅大である。背後の丘陵斜面との接触点には崖錐を欠く。

4. 海　崖

海崖は紅樹林の保護の薄弱なる突角地に於ては勿論海岸平野の背後においても見られ崖高10mを越える處がある。しかし南部マリアナ群島の石灰岩地帯に見るが如き大断崖に比すべくも無い。海崖下にノッチあるもその発達は不良である。

5. 河　谷

河谷の大部分はヤップ本島の中央分水嶺に発源する必従谷であるが二・三の適従谷も存在する。河川は溺谷の谷頭に注ぐもの多くその河谷の横断面形を見るに上流は開いたV字形を呈し、下刻作用は微弱であり、中流地方は早瀬と淵とが交互しておりV字形を呈し、下流地方は海岸平野を蛇行して流下し、1m前後の下刻作用を營んでいる。

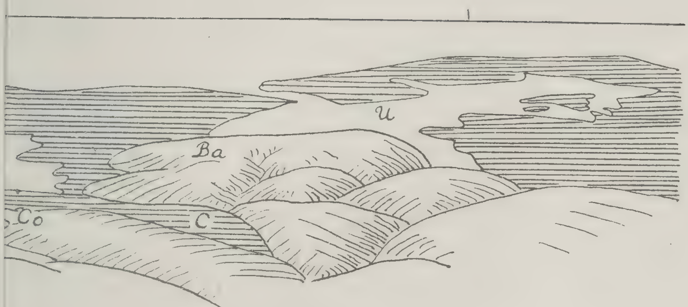
台地上を流れる短小の川は下流地方のみに早瀬あり、峡谷を作り、上流地方は下刻作用が全く營まれず沼沢地(雨季には湖沼となる)間を割合に直線的に流走している。本諸島の火山岩地帯（トミル島）の谷頭にカール状の地形が見られ、その分水界に悪地の地形が現出している。

6. 平坦面

本諸島には6段の平坦面が区別され、その中の第1段面即ち山頂面は準平原遺物と思われるが準平原化の後に段丘作用を受けたかどうかその決定的の資料を欠く。第2段面以下即ち140m・80m・40m・10m・2m の面は面の配置及びその性質から明に段丘と同定さるべきものである。第6段面（2m面）は海岸平野の堆積面であり、中間斜面の台地面（侵蝕面）たる第3・4・5段面とはその性質を非常に異にしている（第21図）（第22図)。

D　パラオ群島（Palau Group）(44)

本群島の盟主たるパラオ諸島（Palau Islands）はパラオ堡礁（Palau Barrier Reef）なる一連の堡礁により囲繞された一群の島の総称である、今この諸島を見ると北半にはバベルダオブ（パラオ本島）（Babeldaob, Babelthuap or Palau Proper）・コロール（Koror）・マラカル（Malakal）・アラカベサン（Arakabesan）の如き火山岩島あり、南半にはオロプシャカル（Aurapushekaru）・ウルクターブル（Urukthapel）・マカラカル（Eil Malk）・ペリリュー（Peleliu）の如き石灰岩島あり、その数300に達する。地形は北半の火山岩地帯と南半の石灰岩地帯とにおいてその趣を大いに異にしている。


U
Ba
Co
C


Plain
III
81m
82m


Tomil I.
2
3
3
2
2
3
4
b

第 20 図　(Fig. 20)

マタデ山より東方を瞰下す（パノラマ図）

Yap Bay showing submerged topography viewed eastward from Mt. Matade



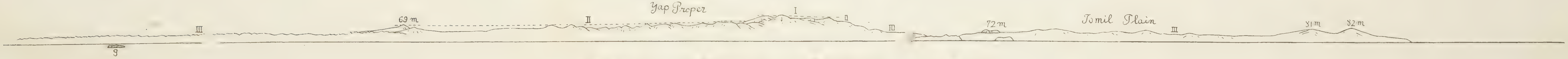
U～ウルル水道　Ba～バラバト半島　C～チャムロ湾　Co～コロニヤ市街地　G～ヤップ支庁　D～ドニッチ島

B～ビー島　T～タラング島　P～ペケル島　L～ルム半島　E～ウギリ湾　M～マップ湾

第 21 図　(Fig. 21)

ヤ ッ プ 港 口 よ り 北 望

Sketch showing terrace topography of Yap Island



I～第 I 段面 (180)　II～第 II 段面 (80)　III～第 III 段面 (40)　g～ガリム島 (5.3 m)

第 22 図　(Fig. 22)

ヤップ港碇泊中の船上よりヤップ本島及びトミル島を見たパノラマ図

Yap Proper sketched from ship in Yap Harbour, showing terraces



1～第 I 段面　2～第 II 段面　3～第 III 段上面　4～第 III 段下面

a～電信山　b～ビー島　c～チャムロ湾　d～ドニッチ島（船はこの北に碇泊す）　e～72 m 山　f～支庁

1. 火山岩地帯

a 肢　　節

垂直的の肢節は実に貧弱であり、高さは最高ガラガラグース山（マケルル山）(Mt. Makeruru)において240mを示す。尚この山は鮮明なる山形を示すものでなく周囲より僅かに高い丘地にすぎない。平均高度 200—150m。これに対し水平的の肢節は著しく発達し、多くの湾入、半島と附属島が見られる。カラマドォ湾・アイライ湾・ナマイ湾・アルコロン半島・ガモレイ半島・ガルコール島・ネラサカ島・軍艦島・ガモレイ島・ウルトイ島・ガルドワイシ島・ガッレル島はこれらの例である。

b 溺　　谷

湾入は何れも溺谷の形態をとる。その発達の状態を見るに東西非対称であり、西斜面に発達良好である。ガスパン湾（Ngatpang Bay）はこの標式的のものである。深さは大体 40—60 mで最深 90 mまで谷形を追跡することができる。

c 海　　岸

海岸は紅樹林により保護されている部分多く特に湾入部において厚く保護されていることはヤップ諸島の場合と同様である。しかしここに注意すべきことは紅樹林に保護されているこの海岸においても10mを越える海崖をその背後に見る場合の多いことである。

海崖は紅樹林の保護のない突角地の處において崖高 40 mの大に達する處もある。オギワル海岸（Ogiwal Coast）はこの例である。一般に海崖の発達は東海岸に良好であり、西海岸に不良である。

d ノッチと海蝕面

海崖下にはノッチの発達があるが一般に奥行が浅い。極めて少数の例ではあるが小さい島にあっては四方よりノッチを刻み蕈状岩の形をとっている。又ノッチ下には広狭の差こそあれ常に海蝕面の発達あり、オギワルの海岸の崖高40mの海崖下において 80 mの幅を示している。一般に東海岸は西海岸に比し海蝕面の発達は良好である。

e 海　岸　平　野

海岸平野の発達は著るしく不良であり、僅かに北部地域の東岸においてのみ見られ、美しい椰子林の存する處となっている。高さは大体礁原上 2 m前後である。背後の山腹斜面との間に崖錐を欠く。

f 河　　谷

河谷の密度は相当に大であり、ガルミスカン川・タバガテン川・ガルドック川始め大小の河が流走している。これらの河はほとんど永久河であり、乾燥季と雖も涸渇することがなく、その一部はコロール町の水道の水源として利用されている。河谷型を見るに主要なる河谷は異常の形態を示し、適従谷であることを暗示している。

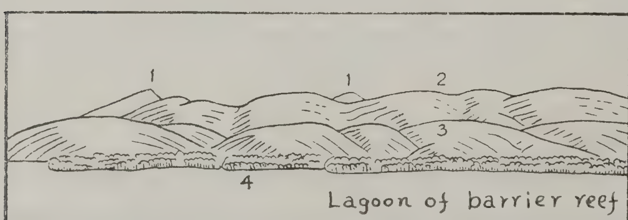
河谷の縦断面形を見るに、上流は全く平衡状態にあり、河水はほとんど動かず時に沼地をなし岩石の露出を全く欠くのを通則とする。然るに中流に至れば急潭•早瀬となり、瀑布を懸け、ここに岩石の好露出を見る。最下の瀑布を下れば下流地域に入り水勢再び弱り、河流は氾濫原を蛇行し2—1 m前後の下刻作用を營んでいるに過ぎない。横断面形もこれと歩調を合わせ上流は開いたU字形、中流はV字形、下流は開いた谷中谷の形をとっている。

谷頭には平底のカール状の地形が處々に見られこれらの谷が相接する時はその分水嶺は刀の刄の如き悪地の地形を現出する。かくの如き悪地にボーキサイト鑛床の豊富な発達を見る。

g 準　　平　　原

本島を遠望する時は一続きの台地状の島であり、平均高度　150—200mを示し、準平原を思わしめるものがある。しかして處々に残丘状の孤立丘を見るのである。ルイス、アルモノグイ山（Mt. Ruisuarumonogui）•エルスム山 (Mt. Erusumu) はこの好例である。しかし接近してこれを観察する時は不鮮明ながら處々に階段状の地形が見られるのである。現在までの資料から推して一旦形成された準平原の大部分が段丘作用をうけたものと解釈している。

第 23 図　　(Fig. 23)
パラオ本島アイミリーキ海岸のスケッチ
Sketch of Aimiliiki Coast, Babelthuap I. Palau Group
Showing terraces



1. Monadnock 2. 100m-Terrace 3. 50m-Terrace 4. Mangrove

h 平坦面（第23図）

パラオ本島においては5段の平坦面が区別される。即ち第1段面240m、第2段面100m、第3段面40m、第4段面20m、第5段面2mの高距を示す。第1段面は前記の準平原面、第3段面と第4段面上には明瞭な段丘堆積物あり、これらの面を段丘面と見做すに何等の疑を挟まない。第2段面には確実なる段丘堆積なく段丘と見ろのに疑問無しとしないが石灰岩地帯から推して段丘と同定するものである。尙第5段面は海岸平野の堆積面である。

i 湖　　沼

パラオ本島には北部にゲルカル沼（Gerukaru Swamp）、中部にガルドック湖（Garudokku Swamp）[16]がある。共に河の上流部にあり、堰塞湖の如き性質を有するものである。ガルドック湖は長さ 900 m、幅 290 m、水深は最深5 m、水面の海抜高距 25 m、湖底は水草に蔽われ、水はやや褐色に混濁している。

2. 石灰岩地帯

a 平　　面　　形

石灰岩島の平面形は狭長不規則であり火山岩に接する處においてはこれを囲繞する如き形態を示している。しかして現在の礁湖に面して多くの肢節を出し、外洋に面しては比較的單調である。内部にあっては大小多数の凹地が存在し、その一部には水を湛えて湖沼をなし地形を複雑ならしめている。大袈裟にたとえれば蜂窩の如き地形を現出している。

b ノ ッ チ

海岸には小局部を除いては全く紅樹林の保護がなく大海崖が連続的に発達している。海崖下には常にノッチの発達あり奥行1—3m、小島にあっては例外なく蕈狀岩をなし、甚しいものにあっては支柱が余りにも細くなり、遂に倒壊を見るに至っている。ノッチは火山岩地帯のものに比し奥行の著しく大なる点において又その形の整然たる点において相異している。

現在の水準面の處のノッチの上位、海崖の中腹に第2のノッチあり、その高度も略一定して5—7m の處にある。ノッチ下に海蝕台あれど著しく狭く、この点安山岩地帯とその趣を異にしている。

c 湖 沼

海岸に並行に配列して数條の狭長の低地帯あり、その或者には水を湛え湖沼を形成している。この湖沼は一般に淺く総てが鹹湖である。ここに注意すべきことは総ての湖沼、これが直徑数メートルの小さいものであってもその湖岸には外洋岸同様ノッチの発達のあることである。この点火山岩地帯の湖沼と根本的に異なる處である。

d 砂 濱

砂浜の発達は火山岩地帯と同様貧弱であり、唯島の彎曲部の内岸又は小島の海岸に於て風下（主として西方）に向って影をひいたような形に於て発達しているのを見るに過ぎない。

e カルスト地形

カルスト地形は全地域に良好の発達を示し、ラピエの地形は全島の表面に見られ、特にペリリュー島の燐礦採掘跡には大規模のものが見られる。石灰洞も處々にあり、ここに人類の遺跡を発見するのである。前記海岸に並行する低地帯を全部ドリネ又はポリエと見ることについては疑問があるが少なくもその一部にかかるものがあると思考される。

f 礁 段 丘

石灰岩島には火山岩島と同様に階段狀の地形が見られ、しかも更に鮮明である。その高さは各島に於て多少相異を示すが大体第1段面 220m、第2段面 120m、第3段面 70m、第4段面 50m、第5段面30—20m、第6段面8mである。しかしてこれらは何れも明瞭なる礁段丘である（第24図）（第25図）。

この段丘の高さと火山岩地帯の平坦面の高さのほぼ一致していることは注意すべきことである。この事があるため火山岩地帯の平坦面を段丘と同定した次第である。尚第6段と第7段の両段丘は南端のペリリュー島及びその近島のみに発達し、北方に至るに従って高度を減じてい

第 24 図　(Fig. 24)

ウルクターブル島、パラオ港内の船上からのスケッチ

Urukthapel Island, sketched from ship in Palau Harbour, showing terraces



1. I–Terrace　2. II–Terrace　4. IV–Terrace　　a. Lighthouse Hill　b. West entrance of Palau Hr

第 25 図　(Fig. 25)

熱帯産業研究所から岩山湾を瞰下

Iwayama Bay, sketched from the Institute of Tropical Industry, Koror, Palau Islands



1. 150m–Terrace　　2. 120m–Terrace

3. 50m–Terrace　　4. 20m–Terrace

Distant views, limestone; foreground, agglomerate.

ることは、高位段丘が東から西に向って傾下している事実と共に注意すべき事実である。尚パラオ群島の最南端なるアンガウル島は地形的にパラオ諸島の最南端のペリリュー島に酷似し、同様の礁段丘の発達を見る。即ち第4段（50m）・第5段（20m）・第6段（10m）が発達している※。以上を表示すれば第2表のようになる。

（註）終戦後アンガウル島精査の結果は、(92)(93) 細かくは 10 段の礁段丘が区別され、これらが大きく高位パラオ段丘（Higher Palau Terrace）、低位パラオ段丘（Lower Palau Terrace）、アンガウル段丘（Angaur Terrace）に分けられることが明になった。段丘面の高さ（最高点を以って代表す）は大体高位パラオ段丘は 150 f（46m）、低位パラオ段丘は 90 f（27m）、アンガウル段丘は 25 f (8m)である。尚最低段丘の高さは礁原上 5 f (1.5m)である。

第　2　表

ヤップ—パラオ群島段丘対比表（数字は段丘の高さの概数をメートルで示してある）

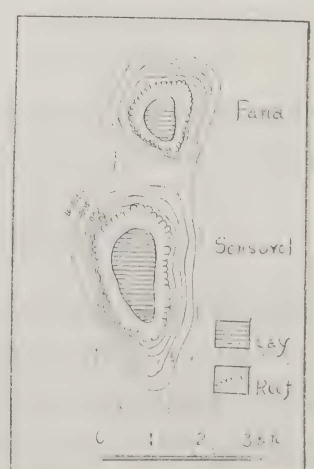
※昭和25年調査の資料による

平坦面	島	ヤップ	パラオ火山岩帯	パラオ石灰岩帯	アンガウル※
準平原	I	180m	240m		
	II	140			
PM_2	III	80			
	IV	40			
	V			220m	
	VI		100	120	
M_2			40	70	
	VII		20	50	46m
				30～20	27
P	VIII			8	8
PP	IX	2	2	2	1.5

E　トコベイ群島 (Tobi or Tokobei Group)[41]

バンナ (Fana)　・ソンソル (Sonsorol) (第26図) ・プル (Pulo Anna) ・トコベイ (Tobi or Tokobei) ・メリル (メリー) (Merir) ・ヘレン (Helen) の6珊瑚島から成り、珊瑚礁の附着すべき基盤岩の露出を見ない。礁上には円形又は楕円形の輪廓を有する小さい珊瑚小島 (Coral islet) 即ち洲島 (Cay) あり、何れも島周1 km前後で高さは2—3 m程度。これらはその地形大同小異で中央に凹地あり、時に湿原・沼地を為している。

第26図　(Fig. 26)
ソンソル島とバンナ島
Sonsorol Island and Fana Island



F　西カロリン群島 (West Caroline Group)

本群島の島嶼はほとんど全部が珊瑚島であり、礁上の洲島の形態はトコベイ群島の洲島と大同小異で唯長いものの多いのを異にする。唯1個例外的存在としてファエス島 (Fais or Feys I.) の隆起珊瑚島がある。その地形はパラオ群島のアンガウル島に似たものがある。以下少しく本島の地形について記述する。

1. 輪　　　廓

フハエス島を遠望する時は美しい卓狀地をなし、從來長楕円形の平面形を有する隆起環礁と称せられていたものであるが、礁湖を暗示する凹地無く表面著しく平坦であり、處々に僅か3m前後の侵蝕殘岩を留めるに過ぎず、むしろ隆起卓礁と称するのが妥当である（後章において詳說する)。

2. 段　　　丘

本島には平坦面を6段数えることが出来る。第1段面は前記侵蝕殘岩の切頂面で代表され、高距は第2段上3m前後、絶対高度大体23mである。第2段面は本島の大部分を占める面であり、著しく平坦、且つ広く燐礦の堆積する處となっている。その高距は礁原上20m、第3段面は第2段面の周緣に帶狀に発達し、多くの場合緩傾斜面で示され、かつ第2段面との間の段丘崖は鮮明を欠いている。その高さ大体15m。第4段面は海岸地帯に狹く発達し、ラピエの地形の最も鮮明に現れている面である。高さ大体10m。以上は礁段丘と称し得られる面であるが次の第5・6段面は共に大部分砂礫より成る海岸平野の面である。その高さは第5段面5— 6m、第6段面2m前後である。

3. ノッチと石灰洞

第2又は第3段面が直接海に臨む處にあっては海崖を作り、海崖下にはノッチの発達あり、しかも二重になっており、上位のノッチは奥行3mに達し、礁原上大体2mの高さにあり、ほぼ第6段面の高さに一致しているのを見る。下位のノッチは即ち現水準において刻まれつつあるものであるが奥行未だ数十センチメートルに過ぎない。尙局部的には第3のノッチあり、その高さ礁原上5m前後であり、第5段面の高さとほぼ同一である。

海崖には又2種の石灰洞が見られる。その1は現水準面の海蝕の結果として形成されたものであり、その2は海崖の中腹にあり、基底の高さ大体1.5—2.5mであり、第6段面形成当時の所産と思考されるものである。

4. カルスト地形

現在の地表面には第3段・第4段の一部に小規模のラピエを見るにすぎないが第2段面の燐礦採掘跡には可成のラピエを見ることができる。

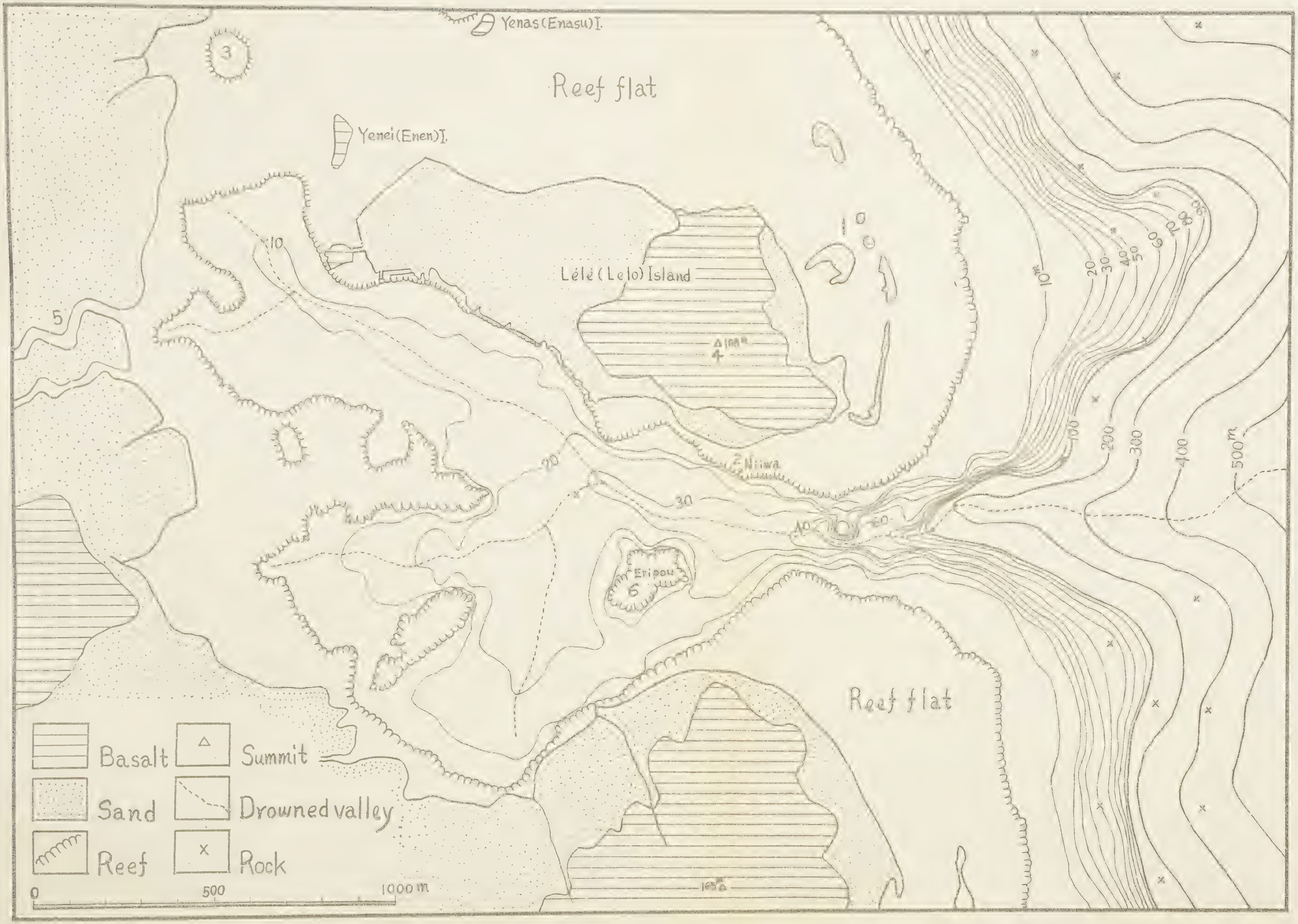
G　東カロリン群島（East Caroline Group）(51)(62)

本群島にはトラック諸島(Truk Islands)・ポナペ島(Ponape I.)・クサイ島（Kusaie I.）の3火山岩島あり、珊瑚礁の基底をなしている。この3火山岩島を連ねる線を更に南方に延長すれば隆起珊瑚島である處のナウル島（Nauru I.）に達す。3火山岩島は個々独得の地形をとるが又共通の性質も見ることができるのである。以下少しく3島の地形に就いて観察を試みる。尙本群島にも多くの洲島のあることは勿論である。

第27図　(Fig. 27)

レレ湾の水深図（溺谷を示す）

Bathymetrical chart of Lélé Harbour, Kusaie Island
showing drowned valley



1. Coral islet (Cay)　2. Mushroom rock　3. Reef pool, 3.6 m deep　4. Mt. Fenkofuru　5. Innemu River　6. Isolated reef

1. 肢　　節

一般的に肢節は垂直的にも水平的にも発達良好である。垂直的の発達はポナペを第1とし、最高はナーナラウト山（Mt. Nana）にて787m、次はクサイのホンコル山（Mt. Crozer）にて 629m、次はトラックのウリコボス山（Mt. Urikobosu）にて 452 mである。水平的の肢節の発達はこれと全く反対で第1はトラック、第2はクサイ、第3はポナペである。

2. 海　岸　線

海岸線は屈曲に富み多くの附属島を有するがトラックにおいて最も多く、クサイにて最も少ない。トラック諸島は四季（Siki）・七曜（Sitiyō）の両諸島に分かれ春島（Moen I.）・夏島(Dublon I.)・水曜島（Tol I.）以下大小多数の島から構成されてあるが、ポナペでは附属島としてジョカージ（Jokaj）・マント（Mant）島以下十数島、クサイではレレ島(Lélé I.)のみである。但しクサイにおいては新期の堆積物により囲繞され最近本島に連なり半島化した島も二・三存在する。尚各島とも珊瑚島は除外してある。

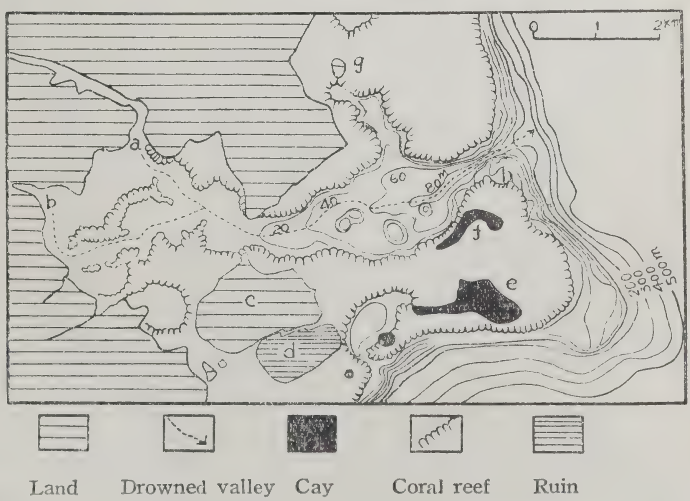
3. 溺　　谷

湾入は溺谷の形態をとり、大河は皆溺谷の谷頭に注いでいる。クサイ島のレレ湾(Lélé Bay)（第27図）・ポナペ島のポナペ水道・マタラニム水道（Matalanim Passage）（第28図）・ロンキチ水道（Ronkiti Passage）はこの好例であり、溺谷の形態はレレ湾で 500 m（中流部水深30—70m）、ポナペ水道で 110m（中流部水深50-80m）の深さまで谷形を追跡することができる。但しレレ轡の溺谷にあっては中下流部の境界の深さ70mの處に谷底傾斜の急変点あり、ここより急激に 500 mの深さまで低下している。トラックにおいては礁湖底(深度大体40m)まで谷形を追跡出来るがこれ以下は不可能である。

第28図　(Fig. 28)

ポナペ島マタラニムの溺谷

Drowned valley of Matalanim, Ponape I.



a. Retau R.　b. Senipen R.　c. Naoue I.　d. Nanmatal I.
e. Na I.　f. Napali I.　g. Mutokolj I.　h. Matalanim Passage

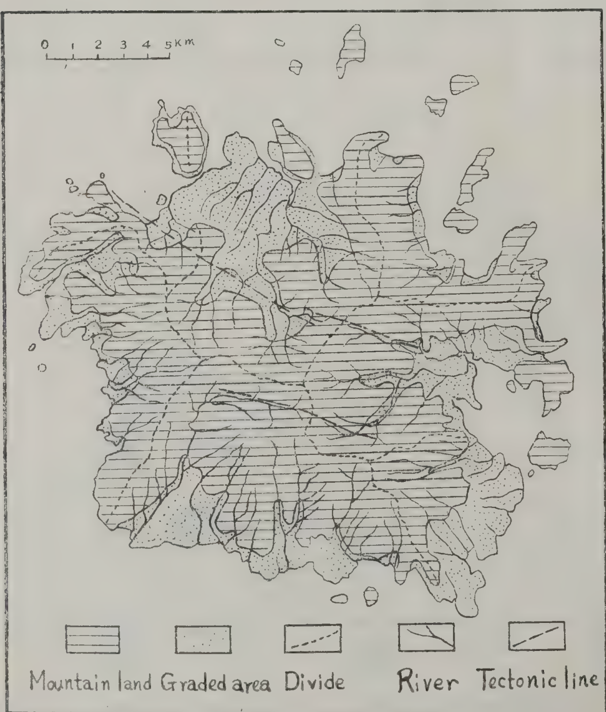
浸水度即ち谷の何處の辺まで海水が浸入したかの程度はトラックにおいて最高を示し、ポナペにおいて最低のようである。トラックにおいては分水嶺の鞍部まで浸水し、そのため1個の開析された火山体が多くの島々に分離したものと思われる。

4. 海　　崖

海岸は3島共大部分紅樹林により保護されている。紅樹林により保護されない突角地は勿論、保護されている海岸においてさえ海崖が発達している。この点ヤップ・パラオ本島の地形と同様であるがその崖高においてやや高いのを異にする。トラックの春島 (Moen I.)・ポナペのジョカージ島（Jokaj I.）において最も発達良好であり、崖高 100m前後に達するものがある。

海崖下には海蝕洞が處々に見られ、その或者には蝙蝠糞（Bat guano）の堆積を見る。トラックの木曜島（Pata I.）・クサイのタホンサク（Tahonsaku）海岸にこの好例がある。

第29図　(Fig. 29)
ポナペ島の谷系
Valley system of Ponape Island

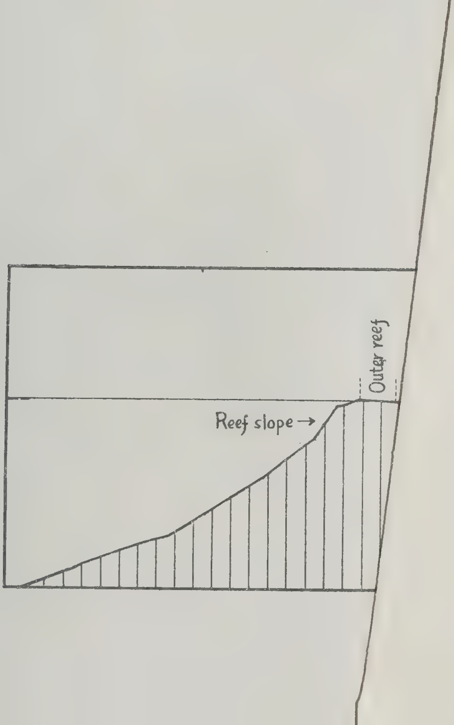


5. 河　谷(第29図)

谷の密度はクサイにおいて最も大であり、ポナペこれに次ぎトラック最も小である。トラックには春島と夏島に短小の数谷を見るにすぎない。ポナペ・クサイにあっては全山地は深谷で奥深く開析され、従って河間の山地は比高と絶体高とが著しい差を示さない。特にクサイにおいて開析度が大である。

6. 河　　流

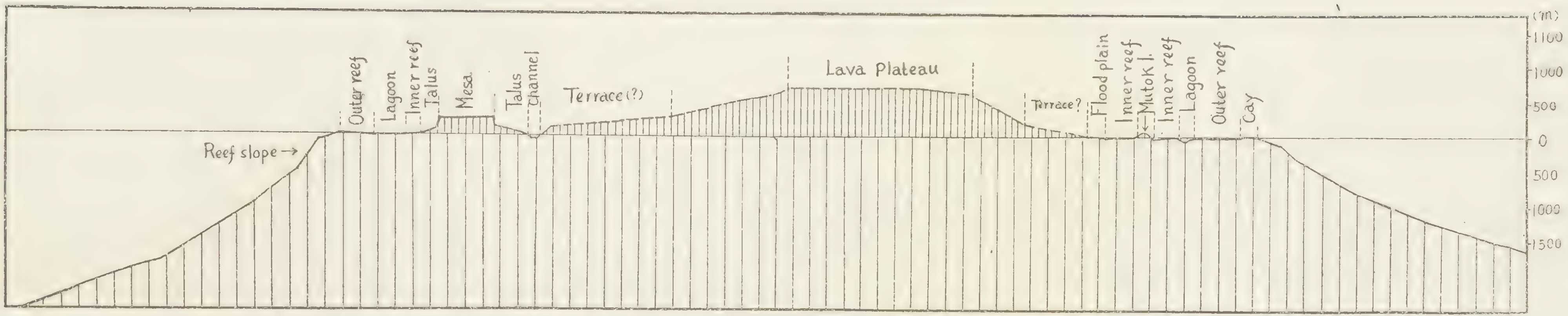
河川の多くは必従河であり、適従河が極めて少い。河川には大体2種類がある。その1は下流に急潭瀑布を懸け中流以上は却って緩流するものであり、一般に短小の川を為す。クサイのカピラ川(Kapira)・ポナペの常盤川(Tokiwa)はこの例である。その2は一般に長大であり、中流以下に於て平衡狀態に達しており、下流は著しく曲流し、上流において始めて急潭瀑布を見る。ポナペの筑波川（Tawenjokola R.）・クサイのフェンコル川（Fenkol R.）はこの種の川の好例である。


Outer reef
Reef slope →

第30図　　(Fig. 30)

ポナペ島の断面図

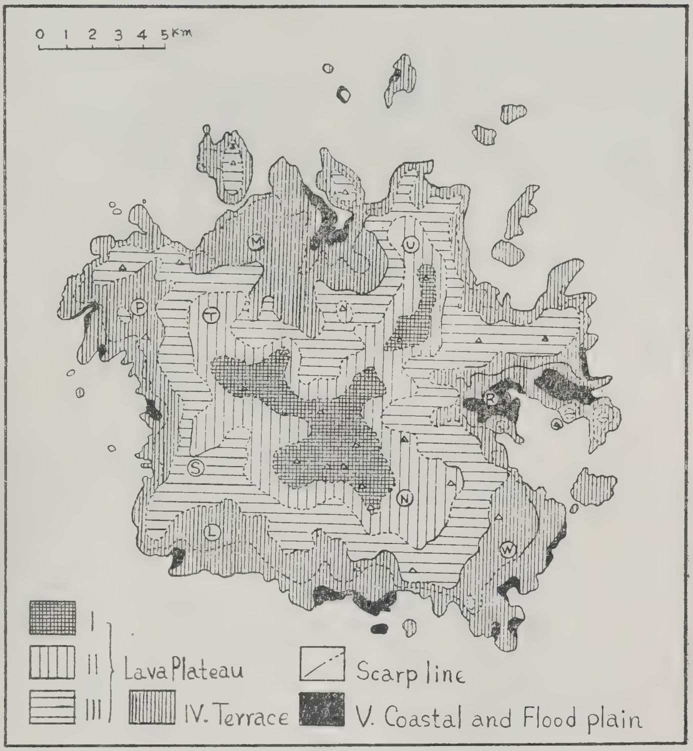
Profile of Ponape Island



第 31 図　(Fig. 31)

ポナペ島の階段狀地形

Terraced topography of Ponape Island



U. U Plateau　T. Tean Plateau　N. Neipitti Plateau

S. Sharapuku P.　P. Palikir P.　M. Myōō Plane　W. Wapar P.

R. Retau Plane　L. Ronkiti Plane

氾濫原は中流より下流に至って急激にその幅を増大し海岸平野に続いている。しかして現在の川はこれらの平坦面を 1 m前後刻下している。特にクサイに於て氾濫原の広いのが注意をひく。

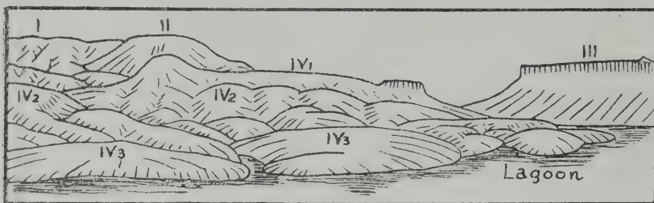
7. 山　形

ポナペ島は平頂で熔岩台地を暗示する處の高原型(第30図)であるに対しクサイ島は尖頂で侵蝕山を暗示するアルプス型である。トラックは両者の性質を具備し、或島は高原型、他の或島は尖鋭度の低いアルプス型である。しかしどちらかと言えば、ポナペに近い。ここにアルプス型といっても眞の溫帶地のアルプス型と大いに趣を異にし、頂上まで草木の被覆する處であり、裸出岩を見ない。尖頂部は全部羊歯類で被われている。しかし尾根の線はいわゆる双狀地形 (Knife edge topography) を呈し歩行極めて困難である。この困難なる点はアルプスと何等異なる處が無い。

8. 平　坦　面 (第31・32図)

高原型の島はもとよりアルプス型の島でもその切頂面を見る時、ここに数段の平坦面を数えることができる。しかしこれらの平坦面の中には明瞭に熔岩の堆積面である場合がある。例えばポナペの750m面•500m面の如きものである。これらを除外する時は段丘面と見做すべき平坦面は案外少ないのである。即ちトラックの100m面・50—30m面・2—1m面、ポナペの100m面・30m面・2—1m面、クサイの30—20m面・5m面・2—1m面がこれである。各島最下の2—1m

第 32 図　(Fig. 32)
ポナペ島の段丘狀地形（スケッチ）
Terraced topography of Ponape Island



I. Lava plateau　II. Lava plateau (Tean Plateau)
III. Mesa (Mt. Jokaj)　IV. Terrace (Myōō Plane)

面は海岸平野の面であり、明に堆積面であるがこれより高位の面は侵蝕面である。これら侵蝕面中同一高度のものが同一時代の所産であるかどうか未だ対比の十分な資料を持っていないが現在の處同一時代のものと思考している。第3表はその対比表である。

第 3 表
東部群島段丘対比表

段丘	群島 / 島	西カロリン	東カロリン				ラリック
		フハエス	トラック	ポナペ	クサイ	ナウル	オーシャン
			?	?	?		
PM₂	I		100m	100m	100m		
	II		50—30	30	30—20		
	III				5		
M₂	IV					67m	82m
						?	?
		23m				?	?
P	V	20—15				?	?
	VI	10				?	10?
PP	VII	2	2—1	2—1	2—1	2?	2?

9. 海岸平野

海岸平野は3島に於て発達の程度を異にし、クサイに於て最も発達良好であり（第33図）、ポナペにおいて最も発達不良である。海岸平野は河流の注ぐ處においてはその氾濫原に連なるものである。又山腹斜面に接する處にあっては多くの場合両者の間に崖錐を欠くか又は貧弱な崖錐を見る。しかし斜面が大断崖である場合にはここに見事な崖錐の地形を見ることができる。ポナペのジョカージ半島にはこの好例がある。一般に山腹斜面直下は却って低く湿原をなし、時に水を湛えて湖沼をなしている。トラック・クサイにこの例が多い。

10. ノ ッ チ

低位のノッチ（礁原上大体2m前後）は紅樹林の保護の無い海岸に見ることができるが断片的であり、西部群島の石灰岩地帯のノッチに比すべくも無い。高位のノッチはポナペ島のウー（U）・ナット（Natto）・トラック諸島の春島（Moen）に於て玄武岩の熔岩崖下にその好例を見ることができる(第34図)。これは海蝕の跡として解釈するのが最も妥当の様であるが岩質の相異(ノッチの部は集塊岩又は凝灰岩で比較的軟い)によりスコールの選擇侵蝕の結果と見られないこともない。しかし海岸の玄武岩崖の中腹にある高さ大体10mのノッチ（トラック諸島の春島はこの例）は海蝕の結果と見るのに躊躇しない。

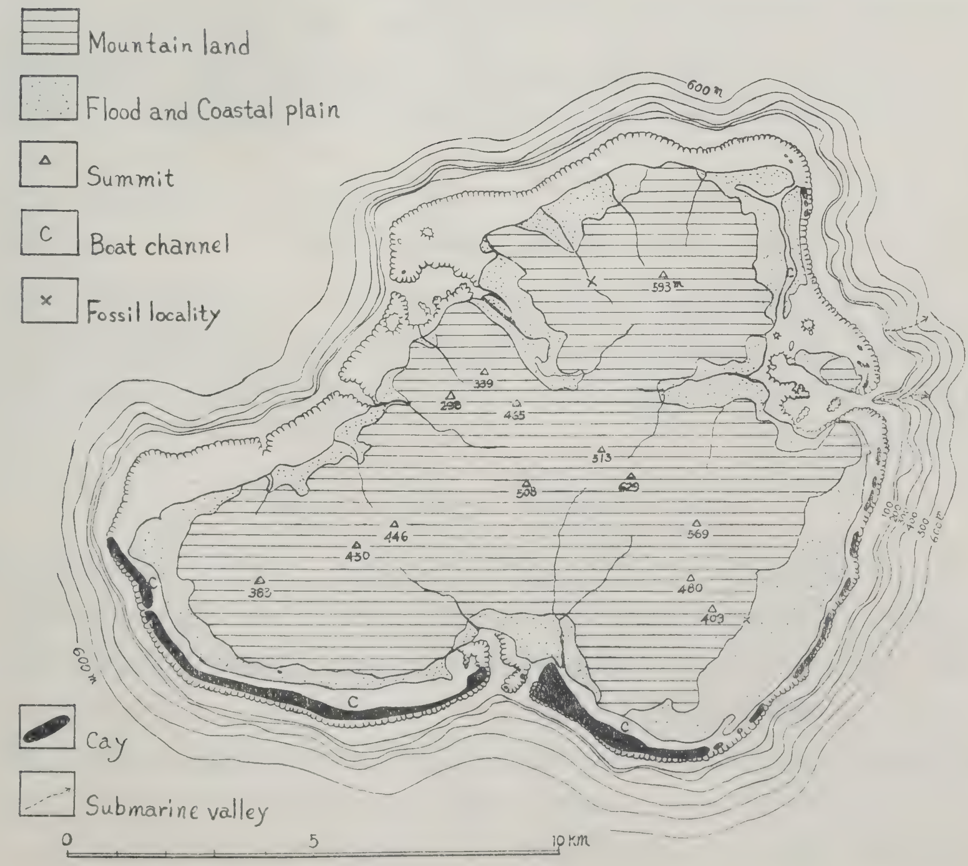
11. 隆 起 汀 線

トラック諸島春島の東岸の一部に明に過去の汀線を見ることができる。即ち礁原上大体2.5

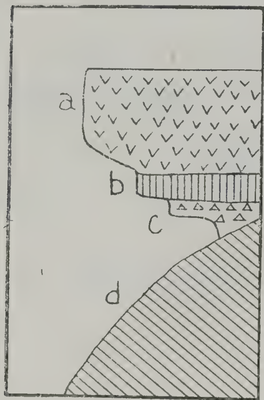
第 33 図 (Fig. 33)

ク サ イ 島 の 準 堡 礁

Almost barrier reef of Kusaie Island



第 34 図　(Fig. 34)
ポナペ島ウーの断崖に於けるノッチ
Notch in cliff at U, Ponape I.



a. b. Lava (Upper basalt)
c. Breccia (Maremu Bed)
d. Trachyte (Foundation rock)

mの高さの一線に沿うて玄武岩に貝殻・珊瑚・石灰藻の附着がある。これは疑問の余地がない隆起汀線である。この事実は最近の道路開鑿にあたり海岸の岩屑を除去したために発見されたものである。

12. 熱帯カルスト地形

石灰岩の発達の殆んど無い本群島には正規のカルスト地形は存在しない。しかし熔岩面上には熱帯特有の雨蝕のために生ずるいわゆる熱帯カルスト地形を見ることができる。ポナペのテアン山（Tean）・トラックのウレモール山（Uremoor）・クサイのフェンロイ島（Fenroi）の頂上にこの好例あり、何れも平坦面上においてその良好なる発達を示す。熱帯カルストは正規カルストのラピエに類似するものであるが、その犬牙状又は刃状地形の尖鋭の度が遙に劣る。

13. 湖　沼

トラック・クサイに於て海岸平野に湖沼を見るが何れも浅く紅樹林に縁取られ、過去の礁湖の名残であることを示している。現在見る海岸の湿原の一部及びいわゆる熱帯ツンドラ帯（後述）はかつては湖沼を形成していたものであろう。

H　ラリック群島（Ralik Group）(37)

ヤルート以下13個の珊瑚島あるも基盤岩の露出がない。エボン島の南方に位置するオーシャン島（Ocean I.）はその位置から推して本群島に入るべきものと思考される處であるが、然る時はマーシャル群島唯一の隆起珊瑚島となる。しかし未調査のためその地形を記載し得ないのを遺憾とする。

I　ラタック群島　(Radak Group)(37)

ウォッチェ以下 17 個の珊瑚島あるも基盤岩の露出を見ない。この群島の珊瑚島のみならず何處の珊瑚島にも常に珊瑚小島(Coral islet)・珊瑚砂島（Coral sand islet）・洲島（Cay）と呼ばれる小島が見られる。これは珊瑚の砂礫が礁原上に風浪により積みあげられてできたものであり、その形態はどれも大同小異である。トコベイ群島の洲島について記する處があったが、他の群島のはこれより長大であるのを異にする位のものである。幅は大体 200m 前後を普通とし、長さは時に数キロメートルに達することがあるが普通1km 以下である。高さは 3 m 以下であるのが普通であり、この上に椰子林を見る。礁湖岸は砂浜、外洋岸は礫浜であるのを

普通とし、最高はこの浜の背後の地点である。従って島の中央部は常に低く、ここが湿原を為しタロ芋畑として利用されている處が多い。砂浜・礫浜下には現成石灰岩の小規模のケスタの地形が見られ、又1m前後の高さ（礁原面から）の海蝕台と茸状岩（侵蝕残岩）とがある

J 中央群島（Central Group）

本群島には南鳥島以下5個の珊瑚島あるも基盤岩の露出が無い。洲島の形態は前述の群島のものと大同小異である。ただ南鳥島のみは輪廓が三角形で低平、やや他と趣を異にしているようである。未踏査のため正確に記載し得ないのを遺憾とする。

K 地形通覧

以上の記載により地形は東西両区域に於て、又各群島に於てそれぞれ特質を有すると共に共通的の性質も有することが了解されよう。以下少しく地形の各項について通覧してみよう。

1. 肢　　節

水平的の肢節の発達は南北マリアナ群島に於て最も貧弱であり、濟入はあれど主として陥落型であり、附属島も極めて少ない。これに対しヤップ・パラオ及び東カロリン群島に於ては発達最も良好であり、濟入は何れもリアス式の溺谷型を呈し、又多数の附属島を有す。

2. 溺　　谷

溺谷の発達は南北マリアナ群島に於て極めて貧弱であるがヤップ・パラオ・東カロリンの3群島には良好の発達をなす。溺谷の深さは東カロリンに於て大であり、クサイに於ては格外に最大で500mを示す。併しクサイの溺谷は他とややその趣を異にし、谷底の縦断曲線中水深70mの處に傾斜の急変点が存在する。この急変点より浅い部分は他の溺谷と全く同一性質である。従ってこの急変点の處を以って溺谷の深度とする時は溺谷の深度は各島に於て著しい相異を示さない。即ち最深深度の概数はパラオにて90m、ポナペにて105m、クサイにて70m、ヤップにて同様70mとなる。ただ南マリアナのグァム島の溺谷のみこれらより浅く水深20mである。

3. 海　　崖

海岸を見るに海崖は全群島を通じて見られ、西部群島の石灰岩の海岸に於て崖高最大（グァムにて180m）を示す。紅樹林に保護されている海岸に於ても尚かつ5—10mの高さの海崖を見ることが出来る。時に崖高100mの大に達するものをも見る。

4. ノ　ッ　チ

海崖下にはノッチの発達あり西部群島の石灰岩地帯に於て最良の発達を為し、南部マリアナにあっては二重ノッチの形態をとっている處が多い。海崖の中腹にも1又は2個の浅いノッチを見る。東カロリン群島には熔岩崖に高位のノッチを見るが海蝕の所産か疑問がある。

5. 海　蝕　面

海崖下には広狭の差こそあれ、海蝕面の発達あり、特に尖角地の如く波浪の直接洗う處に於てはその幅が大である。又石灰岩の海崖下に於けるものより非石灰岩の海崖下に於ける海蝕面はその幅大である。西部群島のグァム・ヤップ・パラオに於て特にその幅の広きを感ぜしめるものがある。グァムに於て最広100mを示す。要するに海蝕面は(1)太平洋の波浪の直接洗う處、(2)非石灰岩地帯の處、(3)溺谷地形の存在する處に於て最大の発達を示しているのである。

6. 段　　丘

段丘は全群島を通じて見られるがその発達の程度は必ずしも同様でない。概して西部群島に於て発達良好であり東部群島に於て不良であると言うことができる。前者にあってはその多くは礁段丘であり、段丘の数も多く高度もまた大で、かつ開析進まず新鮮の姿を保持しているに対し、後者にあっては段丘はその数、高さに於て劣りかつ開析進み連続性を欠き段丘の同定・対比にさえ困難を感ずる程度のものである。従って両者の高度のみによつて対比することは困難である。

西部群島[(55)]それ自身について見るに段丘は南部マリアナに極大の発達を為し、パラオ・ヤップこれに次ぎ北部マリアナに最小の発達を示す。西カロリンのファエス島は例外的の存在であり、その段丘の性質は南部マリアナ・パラオ群島南部に酷似する。

以上は最低位の段丘を除外した場合のことであるが、ここに最低位段丘(PP)即ち海岸平野・海蝕台を含む平坦面は全群島を通じて略同一高度（2m前後）を持って一様に発達しているのである。

7. 河　　谷

谷の密度は石灰岩地域を除いては一般に大である。特にクサイに於て最大に達す。河谷の多くは必従谷であり、一部に適従谷が見られ、特に西部群島に後者の多く発達しているのが注意をひく。河谷の縦断面形を見るに南部マリアナ群島にあっては不連続点多く、ヤップ・パラオ・東カロリン群島にあっては割合に少なく、かつ曲流に甚しいものがある。しかしこれら東部群島の河谷でも未だ完全に平衡状態に達しているのを見ない。ただし、クサイに於てこれに近いものを見る。河谷の横断面形は上中下流に於て異なり、又岩質によって異なる。石灰岩地帯にあっては垂直壁の峡谷が見られ、火山岩地帯の上中流に於てV字谷を見るのが普通である。下流地域は2－1m位の浅い谷壁を有する谷中谷を作る。西部群島火山岩地帯には河谷の上流部に悪地の地形が現出している處がある。

8. カルスト地形

正規のカルスト地形は石灰岩の分布の広い西部群島に発達し、熔岩面の広く分布している東部群島には小規模乍ら熱帯カルストの地形が現出している。

9. 準　平　原

ヤップ・パラオ両群島には準平原を思わせる地形の発達を見るが、その他の群島に於ては判然しない しかし南部マリアナ群島に於ては新期石灰岩下に、東部カロリン群島に於ては新期熔岩下に存在するものの如くである。尚これらに關しては地質の項で再び述べる所存である。

10. 湖　沼

湖沼（礁湖を除く）の発達は東部群島に貧弱であり、僅かにトラック・クサイの海岸平野内に存在するに留まる。然るに西部群島特にパラオ群島に於て発達著しく良好であり、石灰岩地帯に多数存在する。これらを成因的に分類すれば次の4になる。 (1) 火口湖（北部マリアナのもの）、(2)堰塞湖（パラオ火山岩地帯のもの)、(3)溶蝕湖（ドリネに水を湛えたものでパラオ・南部マリアナのもの）、 (4) 遺跡湖（礁湖の名残の湖で南部マリアナ・パラオ・東カロリンのもの）である。

11. 地盤運動[55]

以上の地形的事実より各群島に隆起・沈降の互に相反する地盤運動のあったことが明瞭であり、しかも西部群島に於ては隆起運動が卓越しているに対し、東部群島に於ては沈降運動の卓越していることがうかがわれる。（次表参照）

東西両群島の地形対比

	西部群島	東部群島
水平的肢節	発達不良	発達良好
溺谷	発達不良	発達良好
海崖	発達大	発達小
ノッチ	発達大	発達小
海蝕面	発達大	発達小
段丘	発達大	発達小
カルスト地形	正規カルスト	熱帯カルスト

Ⅶ 南洋群島の地質

A 北部マリアナ群島（North Mariana Group）(50)

本群島の島・礁はすべて火山であり、休火山又は活火山に属す。ウラカス火山は現在盛に噴煙しつつあり、又昭和12年にアッソングソン火山とエスメラルダ海底火山とが活動し噴煙を為した。モウグ・サリグワンの2火山を除く他の火山は火口より、又は火口壁の裂罅より現在硫氣・水蒸氣を噴出しつつあり、又パガン・アラマガン・アナタハン火山には海岸に溫泉の湧出を見る。

これらの火山体を構成するものは安山岩又は玄武岩の熔岩・集塊岩・凝灰岩の互層であり、露出の最も良いモウグ火山に於いては明瞭に不整合関係に於て相接する4層が区別される。即ち最上層は雨滴石の入っている安山岩質の凝灰岩、上層は淡紅色の紫蘇輝石安山岩の熔岩、中層は多孔質の橄欖石普通輝石安山岩の熔岩と集塊岩の互層であり、美しい層理を示している。下層は主として集塊岩質の凝灰岩であり、唯1枚の安山岩の熔岩を挾在している。尙以上の地層を貫き橄欖石玄武岩の岩脈を見る。

パガン島は本群島中地形が最も複雑であるように地質も又複雑である。パガン火山の南岳にあっては、複輝石安山岩と普通輝石安山岩の熔岩並に集塊岩が交互に噴出しているのが看視され、最後に噴出したのが橄欖石玄武岩の縄状熔岩であり、火口原を埋めている。中岳にあっては基盤に複輝石安山岩あり、上部に橄欖石玄武岩を見る。又北岳にあっては外輪山は玄武岩、中央火口丘の基部は安山岩であり、最後に噴出したのは橄欖石玄武岩の熔岩で火口壁より溢出し、西側斜面のカルデラ底に達している。

ここに注意すべきことは北岳山麓の側火山を構成する集塊岩中に造礁珊瑚の團塊を含有すると共に、外輪山を構成する集塊岩が北岳南麓に於て隆起珊瑚礁を被覆していることである。隆起珊瑚礁は東海岸の湾入部に於て、その発達があり、現在の礁原上2—1 m、高潮面上大体0.5 m位にあり、造礁珊瑚の主として構成する石灰岩であり、**パガン石灰岩**（Pagan Limestone）の名を与えたものである（第9図参照)。

以上2島以外の火山島の地質構造は前記2島の地質構造と大同小異である。唯アラマガン・グーグワン火山の表面を構成する凝灰岩中に、椰子・タコの葉の如き植物化石を藏することが異なる。

本群島に於ける最新層はウラカス・パガン火山に見る前記最近噴出の縄狀熔岩を除けば汀堆積層と現成石灰岩である。汀堆積層（Beach deposits）はパガン・アグリガンにやや著明のものあり、安山岩の砂礫を主としてこれに珊瑚砂礫を含み；しかして小規模の海岸平野を構成する處のものである。パガンに於てはこれに砂丘砂が加わり 5mの高さにまで堆積している。

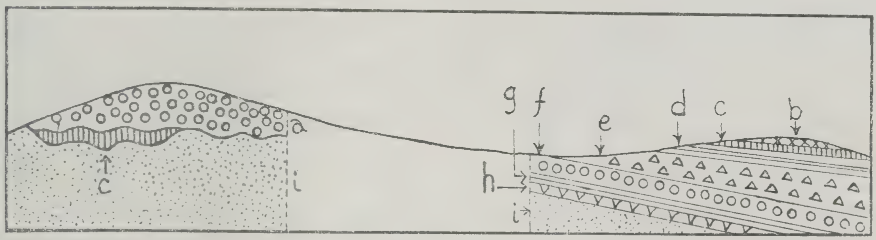
現成石灰岩にいわゆる汀砂岩（Beach sandstone）・汀礫岩（Beach conglomerate)とを含めたものであり、パガン島にのみその発達が知られている。砂浜下にあって美しく成層し、海方に向って 10° の傾斜を保ち、小規模のケスタを形成している。尚そのケスタの切頂面の高さは礁原上 30cm である。上層は砂岩、下層は礫岩、共に安山岩・玄武岩の砂礫の外に豊富に珊瑚・有孔虫の砂礫を含み石灰岩化している。

B　南部マリアナ群島（South Mariana Group）[(49)(56)(63)]

南部マリアナ群島の島々は地形的に類似点がある如く、地質的にも近似していること第4表に示す如きものである。代表としてサイパン島を選びその層序を下位層から略記する。

第 35 図　(Fig. 35)

サイパン島アスベルデードの露頭
Outcrop in road cutting of Asuberudedo, Saipan Island



a. Conglomerate（Densin-Yama Beds）　b. Andesite lava（Kagman Andesite）　c. Limy tuff　d. Shale　e. Agglomerate　f. Conglomerate　g. Shale　h. Tuff　i. Sandy tuff
c～i　Asuberudedo Beds

1. 三角山石英粗面岩（Sankakuyama Liparite）

サイパン島の三角山（Mt. Atchugau)から月見島にかけて標式的の露出をなすものであり、本群島最古の噴出岩であると思惟されるものである。石英粗面岩類は熔岩・集塊岩・凝灰岩の順に堆積している。熔岩は淡紅色又は灰色を呈し、流状構造は実に鮮明である。テニアンとグァムには未だ本岩の露出を発見していないがその礫塊を発見している。恐らく地表下余り深からざる處に本岩が存在するものであると想像される。メディニージャ・ロタ・アギーグアンにはその片影を見ない。

2. アスベルデード層（Asuberudedo Beds）

サイパン島のアスベルデードにおいて安山岩の熔岩下に標式的の露出を示す處の本島最古の含化石層である（第35図）。上層に上部より石灰質凝灰岩・頁岩・集塊岩・礫岩・凝灰岩、下層は偽層の発達する砂質凝灰岩の厚層であり、多くの小断層により寸断されている。

本層に対比されるものはグァム島の**サンタローザ層**（Santa Rosa Beds）である。サンタローザ層はサンタローザ山(Mt. Santa Rosa)・チャチャオ山（Mt. Chachao）・テンホー（Mt.

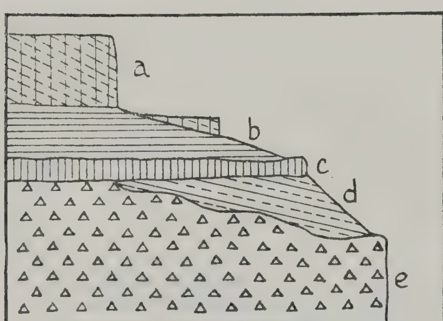
Tenjo）に代表的に露出を示す。凝灰岩•頁岩・泥灰岩の互層であり、1—2枚の石灰岩を挾み、全層緑色を呈する点において、傾斜の大なる点において特徴付けられている。しかして後述のウマタック安山岩（Umatac Andesite）上に不整合に載っている。

3. ハグマン安山岩（Kagman Andesite）

サイパン島のハグマン岬海崖に標式的の露出を示す（第36図）。複輝石安山岩の集塊岩を主体とし一部に紫蘇輝石安山岩・普通輝石安山岩の集塊岩を見る。2枚の熔岩と凝灰岩とを挾み場所によっては成層状態鮮明であり、20° 前後の傾斜を示す。テニアン島カロリナス丘陵(Carolinas or Lalo Hill)斜面と新湊台地上に僅かに露出するマリノ集塊岩（Marino Agglomerate）•ロタ島マニラ山(Mt. Manila)及び水源地地方に露出するマニラ集塊岩（Manila Agglomerate）•グァム島バラノス山 (Mt. Balanos）に露出する**バラノス層**（**Balanos Beds**）に対比されるものである。

第36図　(Fig. 36)

サイパン島ハグマン岬海崖の断面
Section exposed in sea-cliff of Cape Kagman, Saipan I.



a. Nafutan Limestone　b. Donnay Beds
c. Laulau L. S.　d. Densin-Yama Beds
e. Kagman Andesite

グァム島にはバラノス安山岩の下位に、**ウマタック安山岩**（**Umatac Andesite**）と称する別な安山岩あり、本島の基盤を為している。ウマタック海岸(Umatac Coast)に標式的の露出を示し枕状熔岩を主体とする点、杏仁状構造の著しく発達している点、多くの岩脈により貫かれている点、緑色凝灰岩を挾在する点においてハグマン安山岩やバラノス安山岩から区別される。尚本岩中にも集塊岩を挾みバラノス層との間にはサンタローザ層の厚層を挾んでいる。

バラノス層の標式的の露出はバラノスの西斜面において見られ、上層より石灰岩片を僅かに含む塊状無層理の集塊岩、柱状節理の発達する安山岩の熔岩、石灰岩片を相当に多量に含む凝灰岩、厚い安山岩の順に堆積している。

4. マタンシャ層（Matansa Beds）

サイパン島マタンシャの山腹斜面に標式的の露出を示す。ここにおいては下部層は安山岩の巨礫層、中部層は凝灰岩、上部層は石灰岩である。巨礫層は主として安山岩礫より構成されているが稀に花崗岩礫を含んでいることは注意すべき事実である。石灰岩は淡紅色で堅硬、その厚さ 3—5 m、*Camerina•Discocyclina* を豊富に藏している点において特徴がある。本層はここにおいては後述のラウラウ石灰岩（Laulau Limestone）により直接に被覆されている。

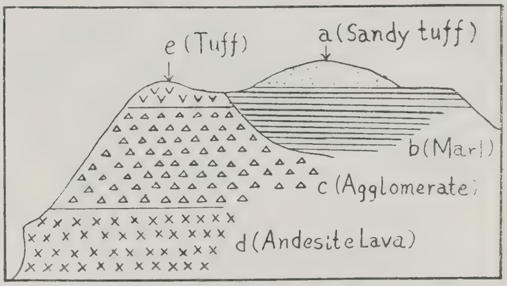
マトイス（Matoisu）の三角山西斜面にはこれに似た地層の露出あり、ここに於ては基盤

に安山岩の集塊岩あり、これより上位に石灰岩•凝灰岩•石灰岩•砂礫層•多少酸性白土化した凝灰岩が配置している。石灰岩には、 *Camerina•Discocyclina* を含み、その岩質に於てもマタンシャの地層に酷似するものがある。よって砂礫層以下をマタンシャ層と同定した次第である。

ロタ島の**マリール層**（**Mariiru Beds**）、グァム島の**ナガス層**（**Nagas Beds**）はこれに対比されるものである（第37図）。但しマリール層は石灰岩を主とする点において、ナガス層は泥灰岩・頁岩を主体とする点において、サイパンのマタンシャ層とやや趣を異にしている。

第 37 図 (Fig. 37)

グァム島ウマタックの露頭
Outcrop on Umatac, Guam Island



a, b. Nagas Beds c, d, e. Balanos Beds

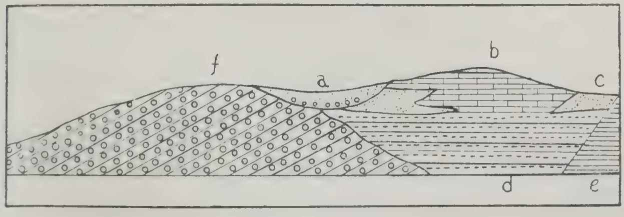
5. 電信山層
(Densin-Yama Beds)

電信山 (Radio Station Hill) の見張所東側下には不整合面を以って接する上下の2層がある（第38・39図）。下層は安山岩の集塊岩上に直接に載るものであり、礫層及び礫岩を主体としこの間に凝灰岩を挾んでいる。上層は下部に頁岩・酸性白土・凝灰岩、中部に礫層・礫岩・砂岩、上部に砂層・礫層・酸性白土、最上層は砂質・凝灰質の石灰岩である。本層中の礫は石英粗面岩礫と石灰岩礫の多い点、砂は石英粒の多い点、細粒の石灰質礫岩中に海亀の化石と造礁珊瑚 (*Saipania tayamai*等) を含む点も特徴と言われよう。尚最上層の石灰岩中には *Camerina•Discocyclina* を含み、一部に植物化石を藏す。

イナナス川 (Inanas River) 上流部においても不整合を以って接する上下の2層を見ることができる。上層は黄色の酸性白土と砂質凝灰岩、下層は上位から礫岩質石灰岩・礫岩・凝灰岩・礫岩・砂岩・集塊岩質凝灰岩・集塊岩質礫岩の順に配列し、最下の礫岩中に安山礫に混じて少数の石灰礫を見る。

第 38 図 (Fig. 38)

サイパン島電信山道路切割の露頭
Outcrop in road cutting of Densin-Yama, Saipan I.



a. Terrace deposits
b. Limestone
c. Sand
d. Sandy shale
e. Yellowish acid earth
(b–e: Densin-Yama Beds)
f. Conglomerate (Uppermost of Matansa Beds)

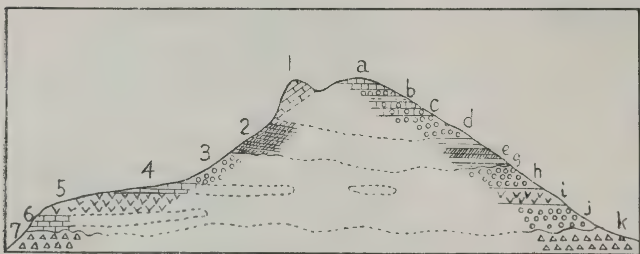
上記電信山東斜面の2露出（見張所東側下とイナナス川上流）の下層は

電信山西斜面の2露出(マタンシャとマトイス)のマタンシャ層にその位置と岩質と含有化石とより対比し、上層は電信山層としてこれから分離した。ここに注意すべきことは電信山最上層の石灰岩がマタンシャ層の石灰岩と全く同一化石を有することである。ここにおいて電信山層とマタンシャ層との間に疑問を生ずるのである。

第 39 図　(Fig. 39)

サイパン島電信山上部の断面図

Profile of the upper part of Densin-Yama, Saipan Island



West slope	East slope
1. Eulepidina limestone	a. Camerina limestone
2. Tuff changing to acid earth	b. Sand
3. Gravel	c. Limy conglomerate
4. Camerina limestone	d. Gravel
5. Tuff	e. Acid earth
6. Camerina limestone	g. Shale
7. Agglomerate	h. Gravel
1. Laulau Limestone	i. Tuff
2. Densin-Yama Beds	j. Gravel
3～6. Matansa Beds	k. Agglomerate
7. Kagman Andesite	a～g. Densin-Yama Beds h～j. Matansa Beds k. Kagman Andesite

第39図は電信山東西両斜面（マトイス斜面と見張所東側下の斜面）の地層の配列を示したものであり、西斜面に2本の断層線を想定する時は電信山最上層の石灰岩は即ちマタンシャ層の石灰岩であり、しかも唯1枚となる理である。石灰岩が同一有孔虫化石(*Camerina*・*Discocyclina*)を有すること、電信山の嶺線に並行に走る小断層が数多く存在する故、同性質の大断層が近くにあるべしと期待されることと、この四辺にはケルンコル・ケルンバットの地形の存在する等はこの断層説に有利である。しかし他方各石灰岩の下盤が異なっていること、斜面において断層面を未だ発見していないこと(岩石が裸出して相当に露出がよいのであるが)、地層の傾斜が割合に緩で、擾乱を見ないこと、3枚の石灰岩の岩石学的性質が多少異にすること、グァム島において古期の石灰岩が何枚も集塊岩・凝灰岩・礫岩と互層している事実のあること等から推して第39図点線で示したように地層が配列し、前述の如くマタンシャ層上に、電信山層が載り、しかも両層の含有化石が等しいものであると見ることができる。従ってマタンシャ層中の石灰岩礫はアスベルデード層中の石灰岩から由来し、電信山層中の石灰岩礫はマタンシャ層中の石灰岩から由来したと解釈され、又現在の珊瑚礁において目撃される如く、同時堆積の珊瑚礫も存在すべしと思考される。

筆者は現在の處断層説をとらず、*Camerina* 等を含む石灰岩はレンズ状をなし、何枚もあ

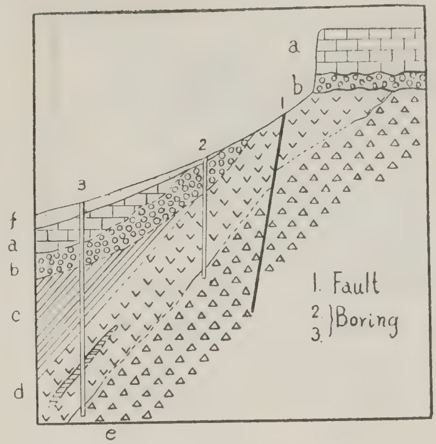
るものであり *Camerina* 等の生物は相当に長い生存期間を持ったものと思考している。もし將来断層面が発見され、その性質が判明するに至れば欣然前說をひるがえし断層說をとるであろう。

テニアンの**マリノ層** (**Marino Beds**) は砂岩・頁岩の互層と石英粗面岩質の凝灰岩から成り、最近試錐の結果明となる（第40図)。グァム島の**フェンナ層** (**Fena Beds**) (第 41 図)はこの電信山層に対比されるものである。但しフェンナ層の礫岩にあっては石英粗面岩礫は極て僅少であり、大部分安山岩礫とサンタローザ層から由来したと思われる綠色頁岩礫から構成されており、この点電信山層とややその趣を異にしている。

第 40 図 (Fig. 40)

テニアン島カロリナス丘陵西斜面の斷面

Profile of the west slope of Carolinas Hill



a. Limestone (Mariana Limestone)

b. Gravel bed (Lasso Limestone)

c. Alternation of sandstone and shale

d. Liparitic tuff (Marino Beds)

e. Andesite-agglomerate (Marino Agg.)

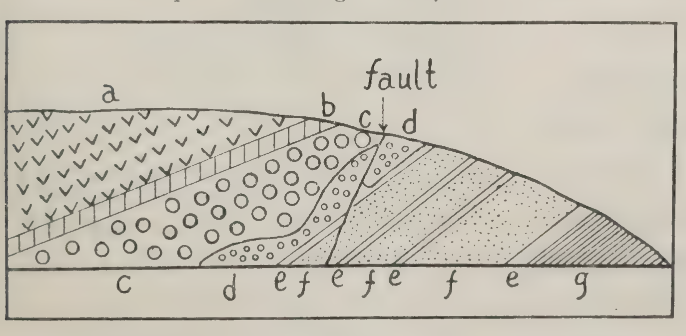
f. Reddish brown clay (Surface soil)

電信山層と マタンシャ 層との関係、ナガス層とフェンナ層との関係は明瞭な不整合である（第41図)。しかし両者に共通の有孔虫化石を有することから推して余り大きいもので無いと思考する。なお時代未詳であるがハグマン安山岩を貫いていることだけは明瞭である處の噴出岩に石英安山岩が

第 41 図 (Fig. 41)

グァム島フェンナの道路切割の露頭

Outcrop in road cutting of Fena, Guam Island

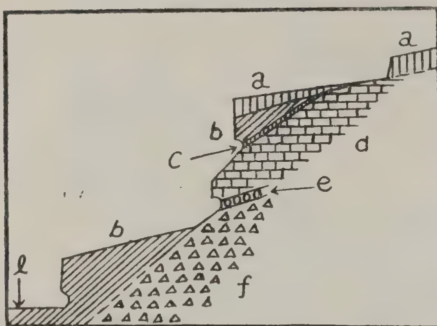


a. Conglomeratic tuff b. Shale c. Congl. with corals

d. Limy conglomerate e. Marl f. Sandy tuff g. Shale

a～c. Fena Beds d～g. Nagas Beds

第 42 図 (Fig. 42)
サイパン島ハグマン海崖の断面
Section exposed in sea-cliff
of Kagman, Saipan I.



a. Mariana L.S. b. Nasutan L.S.
c. Donnay Beds d. Laulau L.S.
e. Gravel bed. f. Kagman Andesite
l. Sea level.

あり、サイパン島のラウラウ山、ロタ島のマニラ山の一局部に露出している。これらは電信山層中の石英粗面岩質凝灰岩と同時代の噴出にかかるものではなかろうか。

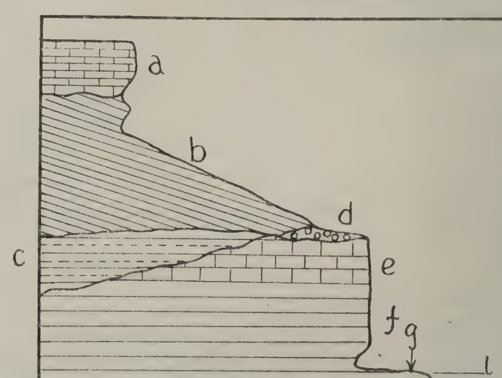
6. ラウラウ石灰岩(Laulau Limestone)

電信山層上に不整合に載って来ている石灰岩（第39図）であり、色は白・黒・褐・黄等様々で純粋の白色石灰岩である場合はむしろ少ない。しかし外観を異にしても造礁珊瑚・海胆・貝殻の化石と共に有孔虫化石（*Eulepidina* • *Spiroclypeus*等） を豊富に藏する点において共通し、サイパンのラウラウ湾岸とナフタン湾岸に標式的の発達あり（第42図）、テニアンの**カステショ石灰岩** (**Kasutesyo Limestone**)（第43図）• ロタの**タイハノム石灰岩** (**Taihanom Limestone**) もこの層群に対比されるものである。尚正確を欠くがグァムの **アサン石灰岩** (**Asan Limestone**) もこれに対比されるものであると思考する。アサン石灰岩は紅色又は白色で堅硬、フェンナ層を不整合に被覆するものである。ラウラウ石灰岩と共通の有孔虫化石を有する事はグァム政庁に保管されてあったW.S.Coleの論文で知る事を得た。

7. ドンニー層 (Donnay Beds)

サイパンのドンニー (Donnay) に標式的の露出を示す地層であり、凝灰岩・砂岩・頁岩の互層を下層とし頁岩・泥灰岩の互層を上層とする。多くの場合ラウラウ石灰岩を被覆するも一部(特に下部)においてはラウラウ石灰岩を挟み、又これと互層をなしている。本層は局部的にその厚さを異にし、厚い處にては 100m

第 43 図 (Fig. 43)
テニアン島カステショ岬海崖の断面
Section exposed in sea-cliff
of Kasutesyo Cape, Tinian I.



a. Coral limestone (Mariana Limestone)
b. Harimeda limestone (Carolinas L.S.)
c. Sandy tuff (Tinian Beds)
d. Conglomerate (Lasso Limestone)
e. Eulepidina limestone (Kasutesyo L.S.)
f. Sandy limestone (Kasutesyo L.S.)
g. Abrasion bench

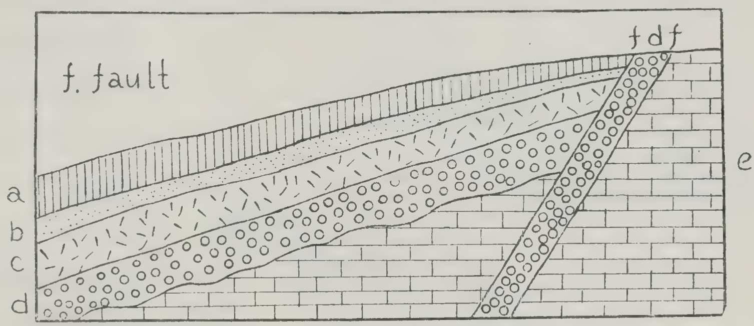
に達するも薄い處においては数mに過ぎない。尙後者の場合にはその基底に数mの礫層を見る場合がある(第44図)。

本層は上下両層共に薄い層理を示し、化石としては少数の蟹(*Callianassa*)と多数の *Globigerina* を藏し、特に後者は泥灰岩の部分に多い。

第44図 (Fig. 44)

サイパン港背後の切割の断面

Section exposed in cut behind Saipan Harbour



a. Pink coloured limestone (Tapotchau L.S.)
b. Yellowish clay
c. Tufaceous sand (Donnay Beds)
d. Limestone gravel
e. White massive l. s. (Laulau L.S.)

テニアン島の**テニアン層**(**Tinian Beds**)(第43図)は本層に対比されることは明であり、ロタにおいてはほとんど殲滅しタイハノム石灰岩(Taihanom Beds)中の凝灰質砂岩・泥灰岩の薄層により代表される。グァム島においては本層に対比される地層が判然しない。

8. タポーチョ石灰岩 (Tapotchau Limestone)

サイパンの最高峰タポーチョ山(Mt. Tapotchau)に標式的に発達する石灰岩である。本層は石灰岩を主とし、一部に砂質・泥灰質の部分のあることあり、又一部において基底礫岩を見る。本層の石灰岩は多くは淡紅色無層理塊狀、一部において縞狀を呈し、或いは角礫質となっている。この石灰岩中に *Nephrolepidina* • *Miogypsina* を豊富に藏することによりラウラウ石灰岩と区別し、両者の間に相当の時代の飛躍を考えていたのであるが半沢教授多年の研究により、本層中にもラウラウ石灰岩と同様の有孔虫化石(*Spiroclypeus*の如き)の含むことが明にされた今日においては從来ほどの時代の飛躍は考え難い。しかし両石灰岩の間には明瞭なる不整合が見られ、かつドンニー層をこの間に介在せしめることはこの間に相当の時間の間隔のあることを示している。ドンニー層を欠除する處では両石灰岩の区別は中々困難であることも事実である。ただし両者の間に礫岩のある場合は容易である。

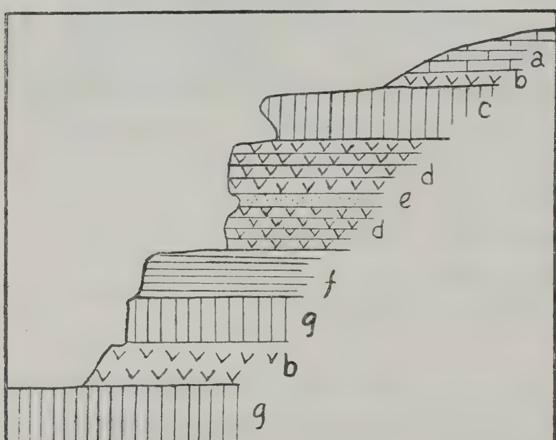
ここに問題になるのはラウラウ石灰岩とタポーチョ石灰岩が共に珊瑚石灰岩である故に明に淺海の堆積物であり、これに対し、この間に挾在するドンニー層が深海の堆積物であると言う点である。ここに短期間に淺海から深海に、しかして又淺海に変るような大地盤運動が考

え得られるであろうか。長期間ならばかくの如き大地盤運動も可能であるが短期間では困難であろう。從ってドンニー層上に来る石灰岩が非常に若いものであれば好都合であり、半沢教授がタポーチョ石灰岩を抹殺し、ドンニー層上に来る石灰岩はマリアナ石灰岩（Mariana Limestone）であるとなす又故無きにあらずである。しかし前述の如くドンニー層上に明に、*Eulepidina* • *Nephrolepidina* を含む石灰岩が載っていることである（第45図）。この事実は如何とも抹殺し得ない。この矛盾を如何に解釈すべきものであろうか。これには二つの道がある。その一はドンニー層は深海堆積物にあらずと見ることである。從来深海生物（*Globigerina* の如き）と考えられていたものが案外淺い處にまで棲息していたのではないかと考えることである。その二はドンニー層と称して来たものの中には不整合を以って接する上下の 2 層あり、下層は淺海、上層は深海の堆積物であり下層はラウラウ石灰岩と互層するも上層は互層せずこれを不整合に被覆していると見るのである。從って第44・45図に見る凝灰質物はドンニー層の下層であり、上層を欠いていると見るのである。しかし同一露頭においてはかくの如き不整合は全く見られない。地域を異にし、露頭を異にするならば又問題は別であり、一に各露頭の対比の如何にかかる。筆者は今日までの調査においてはドンニー層中の不整合は発見するを得ず今日の處第一の解釈の方法をとっている次第である。

第 45 図　(Fig. 45)

サイパン築港裏石取場の断面

Section exposed in quarry behind Saipan Harbour



a. Eulepidina limestone　　b. Tuff
c. Nephrolepidina limestone
d. Limy tuff　　e. Clay　　f. Shale
g. Nephrolepidina limestone

テニアン島の**ラソー石灰岩（Lasso Limestone）**、ロタ島の**ヒーリッポ石灰岩（Hirippo Limestone）**はこのタポーチョ石灰岩に対比されるものである。グァム島のいわゆるアサン石灰岩（Asan Limestone）の一部には或は本石灰岩に対比されるものがあるかも知れない。一に今後の調査研究に待つ。メディニージャ島においては全島石灰岩から成り、上層は淡紅色、無層理の石灰岩であり、下層は成層狀態の鮮明なる石灰岩である。上層はタポーチョ石灰岩に、その岩質と含有化石から対比され、下層はラウラウ石灰岩に対比される。上下両層の境界をなす砂質石灰岩の薄層はドンニー層に対比されるべきものであろう。

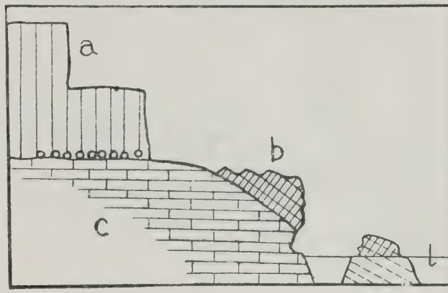
9. ナフタン石灰岩
(Nafutan Limestone)

サイパン島ナフタン(Nafutan)のハグマン岬(Kagman Pt.)の如き大海崖の處に於いて良好の露出を示す。層狀石灰岩であり、常に 20°—10° の傾斜を示し、多くの場合海方に向っている。一般に礫岩質であり珊瑚礫が *Halimeda* のみにより緩く膠結されている場合が多く、又 *Halimeda* のみより成る完全なるハリメダ石灰岩(Halimeda Limestone)である場合がある。色は白色を普通とし時に淡紅色を呈し、肉眼的にタポーチョ石灰岩と区別困難な場合がある。

第 46 図 (Fig. 46)

ロタ島南海岸における露頭

Outcrop on the south coast of Rota I.



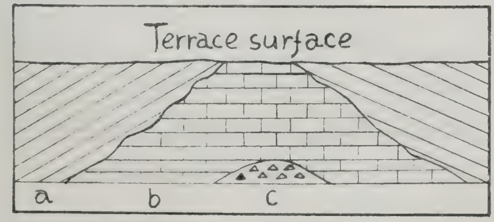
a. Mariana L. S. with basal gravel
b. Poniya Limestone (inclined)
c. Hirippo Limestone

テニアンの**カロリナス石灰岩**(Carolinas Limestone)・アギーグアンの**アギーグアン石灰岩**(Aguijan Limestone)・ロタの**ポーニヤ石灰岩**(Poniya Limestone)・グァムの**スメー石灰岩**(Sumay Limestone)は本石灰岩と性質酷似し、これに対比されるものである。本石灰岩と明にタポーチョ石灰岩と同定し得られる石灰岩との直接の接触はサイパンに於いては殆んど見られず、多くはラウラウ石灰岩又はそれより古期の地層に著しい不整合を以って接している。しかしロタに於いては二・三の箇所(第46・47図)にて目撃出来る。本層は後述のマリアナ石灰岩とは親密の関係にあり、両者は整合的の接触を為す如く思考される節が存在する。しかしサイパン・ロタの数箇所に於いて第48図・第49図に示す如き明瞭なる不整合関係を目撃し得るのである。

第 47 図 (Fig. 47)

ロタ島ヒーリッポの海崖の露頭

Outcrop on the sea-cliff of Hirippo, Rota I.



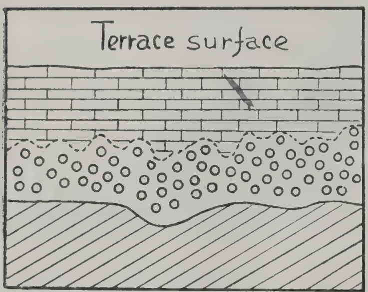
a. Poniya Limestone (inclined)
b. Hirippo L. S. (massive)
c. Manila Andesite (Agglomerate)

グァム島にはスメー石灰岩と同時異相の堆積物か、又はそれよりやや古期のものと思考される堆積物に**タロホホ夾泥炭層**(Talofofo Peat-bearing Beds)がある。本層はタロホホ川(Talofofo River)の上流地方のみにその発達が知られている地層であり、1枚の泥炭層を挾み礫•砂質粘土・灰色粘土から構成されている。しかして灰色粘土中に貝殼と一・二種の特殊な樹

第 48 図　　(Fig. 48)

サイパン島タロホホ鉄道切割の露頭

Outcrop in railroad cut at Tarohoho, Saipan Island

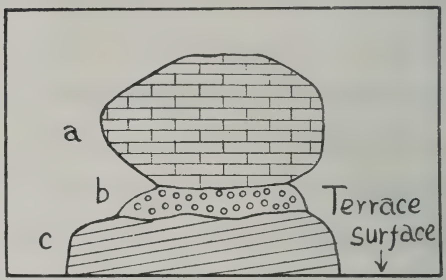


a.　Horizontal coral l. s.　(Mariana L. S.)
b.　Basal conglomerate (Mariana L. S.)
c.　Dipping Halimeda l. s.　(Nafutan L. S.)

第 49 図　　(Fig. 49)

ロタ島ヒーリッポ海岸の蕈状岩

Mushroom rock on the terrace surface Hirippo Coast, Rota Island



a.　Mariana L. S.　(horizontal)
b.　Basal conglomerate
c.　Poniya Limestone　(dipping)

状の造礁珊瑚をその上層部に豊富に藏している。なおスメー石灰岩は海岸に、タロホホ夾泥炭層は湾入の奥に堆積したものと想像される。かくの如き夾泥炭層は南部マリアナの他島には全くその影を見ない。丁度地形に於いて溺谷がグァム島以外に全くその影を見ないように。

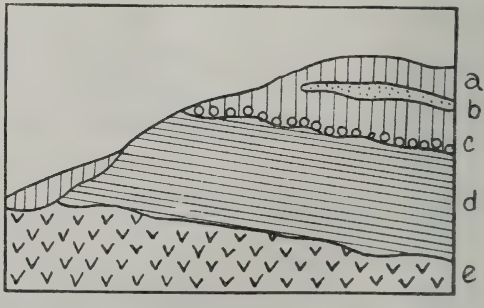
10.　マリアナ石灰岩 (Mariana Limestone)

本石灰岩は南部マリアナ全島に共通に発達している石灰岩であり、サイパンの南半・グァムの北半・テニアン・ロタ・アギーグアンの殆んど大部分を構成するものである。ただしメディニージャにはその発達が無いもののようである。本石灰岩は無層理多孔質で色は白色又は淡黄・淡褐を普通とし、基底部に近く淡紅色を呈する場合がある。この場合は肉眼的にタポーチョ石灰岩と混同し易い。保存良好なる多種の造礁珊瑚から成る珊瑚石灰岩を主体としている。貝殻の化石に富む。基底に礫岩又は砂岩を見る場合あり、稀に粘土層を挟む（第50図）。又一部基底には造礁珊瑚　*Acropora, Montipora*　のみより成る處もある。グァムに

第 50 図　　(Fig. 50)

サイパン島タロホホ道路切割の断面

Mariana Limestone with intercalated clay lens in road cut, Tarohoho, Saipan I.



a.　Coral limestone (Mariana Limestone)
b.　Clay lens
c.　Limestone pebble (basal conglomerate)
d.　Tufaceous shale　(Donnay Beds)
e.　Agglomerate　(Kagman Andesite)

おいてはこの部に泥灰岩を挾む。台湾・琉球列島の琉球石灰岩、大東島の大東石灰岩に酷似しこれに対比されるものである。

マリアナ石灰岩とナフタン石灰岩とは前述の如く不整合である。尚本層はナフタン石灰岩より古い、あらゆる地層に接している。

11. 段丘堆積層（Terrace deposits）

サイパン全島の大半の地域の地表には赤褐色又は黄褐色の粘土層を見る。この一部はテラロサ（Terra　rossa）であり一部は紅土（Laterite）であるがこれらの中には２次的に河又は海によって他處より運ばれた段丘堆積層がある。石英粗面岩礫・安山岩礫と共に多くの滿俺粒と褐鉄鑛粒をこの中に見る。

テニアン島に於いてはサイパンと同様の発達を示すが、メディニージャ・ロタ・アギーグアンに於いては発達不良である。グァム島にあっては南半部の高位段丘面に広く発達し、美しい層理を示し水平に堆積している。基底の部に安山岩・頁岩・石英・石灰岩等の礫が薄く並びその上に褐鉄鑛・ボーキサイトを含む砂質粘土が堆積している。

サイパン島電信山頂 200m 面上に分布する石英粗面岩を主とする段丘礫はその地理的位置から推して時代的に前記低位のものと区別さるべきものである。マリアナ石灰岩堆積面より上位に位置する故にナフタン石灰岩と同時代か、グァムのタロホホ夾泥炭層と同時代かである。

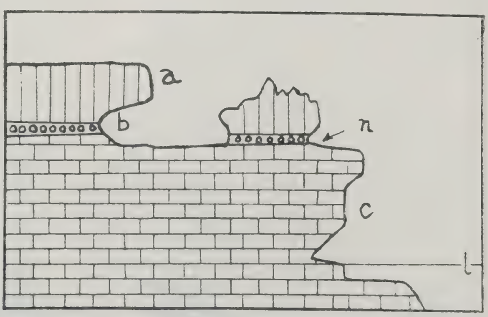
12. チャッチャ石灰岩（Chatcha Limestone）

サイパン島チャッチャ（Chatcha）海岸の一部にその代表的のものが見られる。テニアンの**ソンソン石灰岩**(**Sonson Limestone**)、ロタの**ロタ石灰岩**(**Rota Limestone**)、グァムの**バリガーダ石灰岩**(**Barrigada Limestone**)はこれに対比されるものである。本石灰岩はサイパンに於いては、ハリメダ石灰岩を副とし珊瑚石灰岩を主とするが、他島に於いてはハリメダ石灰岩を主とし、珊瑚石灰岩を副とする。珊瑚石灰岩はその岩質に於いて又その含有化石に於いて前記マリアナ石灰岩と酷似し、両者を識別するに困難を伴う場合があるが、マリアナ石灰岩に比し、一瞥する時更に若い感を与え、かつ珊瑚が直立している場合の多いことと地形上の相異により区別される。

第 51 図　　(Fig. 51)

テニアン西海岸の海崖断面

Sea-cliff of the western coast of Tinian I.



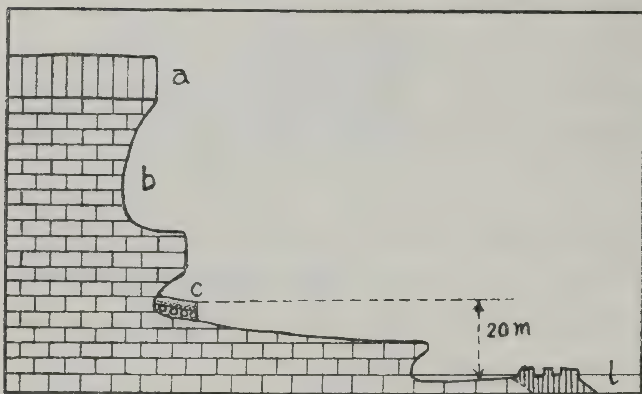
a.　Sonson L. S.　(Older raised coral reef l. s.)

b.　Conglomerate (reddish)　c. Mariana Limestone

l.　Sea level　　　n. Raised notch

第 52 図　　(Fig. 52)

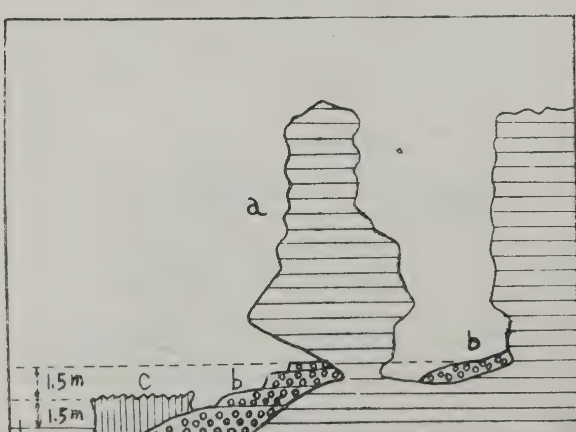
ロタ島南東岸の断面
ノッチ中に堆積した古期隆起珊瑚礁石灰岩を示す
Profile of the southeast coast of Rota, showing older raised coral reef limestone deposited in notch



a. Mariana Limestone　　b. Poniya Limestone
c. Rota Limestone (Older raised coral reef l. s.)
l. Sea level

第 53 図　　(Fig. 53)

グァム島イナラハン海岸の断面
ノッチ中に堆積した新期隆起珊瑚礁石灰岩を示す
Profile of coast of Inarajan, Guam I.
Showing younger raised coral reef limestone deposited in notch



a. Mariana Limestone
b. Conglomerate　} Merizo Limestone
c. Coral limestone　(Younger raised coral reef l.s.)

マリアナ石灰岩との接触関係を判定するに適当な露頭は非常に稀である。何となれば両者は合着しているからである。テニアンの例（第51図）とロタの例（第52図）は全く例外的のものである。テニアンのこの露頭に於いては両層間に紅土状物質の膠結物を持つ處の礫岩を挾み、不整合関係が歴然としている。上層は直立珊瑚、下層は珊瑚の巨礫から成る石灰岩である。ロタの露頭に於いてはポーニヤ石灰岩のノッチを埋め、ロタ石灰岩が堆積し、その基底部は礫岩である。

13. タナパコ石灰岩 (Tanapag Limestone)

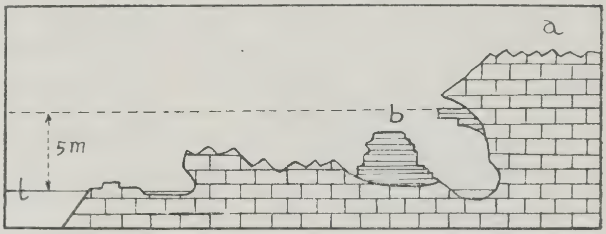
サイパン島のタナパコ（Tanapag）―マタンシャ(Matansa)海岸に標式的の発達を示す石灰岩である。珊瑚石灰岩を主とし石灰藻石灰岩を副とする。珊瑚は直立し、珊瑚礁生成当時の姿勢をその儘保持し、最近隆起したばかりと言う感を与える。

テニアン島の**ダンクロー石灰岩** (**Dankuro Limestone**)・ロタの**ミリカッタン石灰岩** (**Miri-kattan Limestone**)・グァムの**メリゾ石灰岩** (**Merizo Li-**

mestone)はこれに対比されるものである。メリゾ石灰岩について観察するに上層は直立せる珊瑚より成る石灰岩、下層は水平に堆積せる珊瑚礫より成る礫岩である（第53図)。上下両層の関係は微弱なる不整合であり、多くの地域においては下層を欠き、上層は直接基盤岩に接している。メリゾ石灰岩とバリガーダ石灰岩との接触関係は第54図A・Bに見る如く明瞭なる不整合である。

第 54 図 (A)　(Fig. 54A)

グァム島北海岸の断面
Profile of the north coast of Guam I.
Sea level notch connected sea cave



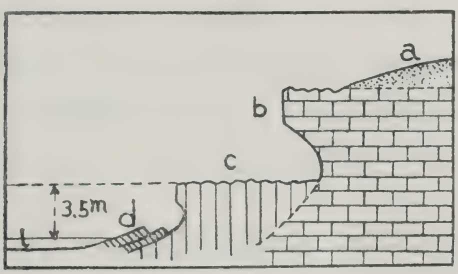
a. Barrigada L. S. (Older raised coral reef l.s.)
b. Merizo L. S. (Younger raised coral reef l.s.)

14. 隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)

海岸平野を構成する礫•砂•砂質粘土であり珊瑚・有孔虫・ハリメダ・貝殼等に富む。一部に砂丘砂を含み、相当高い處まで堆積しているのを見る。メディニージャ・アギーグアンを除き南部マリアナ各島に広く発達し、前述の新期の隆起珊瑚礁石灰岩（タナパコ石灰岩・ミリカッタン石灰岩・ダンクロー石灰岩・メリゾ石灰岩）を被覆している。グァム島のウマタック海岸の一露頭では、直立せる *Porites* の上に隆起汀堆積物（下部層は石灰質の粗鬆な砂岩、上部層は砂）が水平に載っている（第55図)。

第 54 図 (B)　(Fig. 54B)

グァム島北海岸の露頭
傾斜している汀砂岩が水準面ノッチ下に堆積している
Profile of the north coast of Guam I.
Tilted beach sandstone subjacent to sea level notch



a. Dune sand
b. Halimeda limestone (Older raised coral reef l.s.)
c. Lithothamnium l.s.(Younger raised coral reef l.s.)
d. Beach sandstone (Recent limestone)
l. Sea level

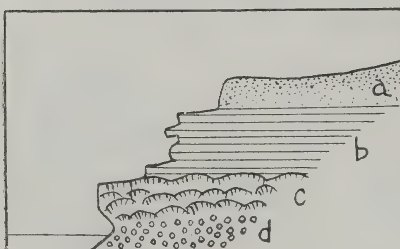
15. 現成石灰岩 (Recent limestone)

北部マリアナ群島におけると同様いわゆる汀砂岩・汀礫岩と呼ばれるものの総称である。成分から言えば前者は有孔虫石灰岩であり、後者は珊瑚石灰岩である。共に海岸平野の汀線上において現に形成されつつありと思考されていた石灰岩である。本石灰岩は常に海方に向って10° 前後の傾斜を示し、

第55図　(Fig. 55)

グァム島ウマタック海岸の最低段丘

Lowest terrace of Umatac Coast, Guam I.



a. Sand
b. Limy s.s. } (Raised beach deposits)
c. Erect coral
d. Coral gravel } Merizo L.S. (Younger raised coral reef l.s.)

走向はほぼ汀線上の方向と一致する。傾斜は汀浜の傾斜と一致するか又はこれより緩なのを普通とする。

メディニージャ・アギーグアンの両島にはこの種の石灰岩を全く欠くも、その他の4島には共通に同一の形態において発達している。ただロタに於てその表層に土器の破片を藏し、かつ礁湖底にまで分布していること、グァム島南部のものに安山岩礫・頁岩礫を可成り多く含有していることを異とする。

16. 構　造 (Structure)

サイパン・テニアン・ロタ・グァムの4島には共に多少の構造線が知られている。サイパンに於ては大体島軸に沿う断層線が卓越しその或者は逆断層である。テニアンに於ては南北方向と北東—南西方向の2断層系統が卓越し、ロタに於ては島を斜断するような方向の構造線が卓越している。グァムにあってはサイパン同様島軸に沿う断層線が卓越し、又褶曲軸の方向もこれと同様である。尙これに直交するような方向の断層線も存在する。

これらの構造線は大部分は古期隆起珊瑚礁石灰岩（チャッチャ石灰岩及びこれと同時代の石灰岩の総称で後に詳說する）の堆積以前のものであり、以後と思われるものは殆ど之を欠いている。古期隆起珊瑚礁石灰岩及びマリアナ石灰岩がほぼ水平であるに対し、その下のナフタン石灰岩及びこれと同時代の石灰岩及びグァム島のタロホホ夾泥炭層（之等をハリメダ層群と総称する。詳しくは後述）が多くの場合20°—10°の傾斜を示しているが、しかしハリメダ層群の大部分と言うものは形成当時に於て海底の傾斜面に堆積したが故に形成当時すでにかくの如き傾斜をとっていたと見るべきであろう。しかしロタに於てポーニャ石灰岩(ハリメダ層群に属す)上にタイハノム石灰岩の伸しあがって来ているのが観察され、又ポーニャ石灰岩上に集塊岩が逆断層で載っているのが観察されるのでハリメダ層群堆積後に於ても相当の断層運動のあったことは明瞭である。尙サイパン・グァムに於てマリアナ石灰岩堆積後の断層が知られている。

C　ヤップ群島　(Yap Group)[47][53]

本群島の盟主たるヤップ諸島は古来大陸島と称されて来たものであり、地質構造が他と著しく異なるものがある。以下ヤップ諸島の層序を下層から順次略記する。

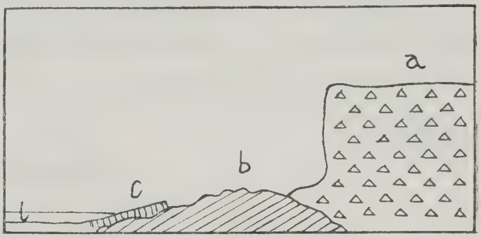
1. ヤ　ッ　プ　層 (Yap Beds)

ヤップ本島に主として発達している緑色岩の一群であり、本諸島の基部を為すものである。

塊狀角閃岩・粒狀角閃岩・片狀角閃岩・緑色片岩等を主体としている。これらは常に急傾斜を示し、局部的にその走向を変化しているが島軸の方向に一致している場合が最も多いようである。尙かつてヤップ水道入口のエントランス岩 (Entrance Rock) が白花崗岩であると発表したことがあるが、大なる誤りでこれは標本採集地の誤聞の結果である。その後の実地踏査の結果エントランス岩は造礁珊瑚の一塊であり、白花崗岩の露出しているのはトミル島南岸のガチラオ島 (Gatirao I.) (通称星島) であることが判明した。ここに誤謬を訂正する次第である。

第 56 図 (Fig. 56)

ヤップ、トミル島東岸海崖
Profile of east coast of Tomil I., Yap



a. Breccia (Lower Map Beds)
b. Amphibolite (Yap Beds)
c. Recent conglomerate
l. Low tide level

ヤップ層中には未だ化石が発見されていないが最近石灰岩のレンズが発見されたときいている。筆者がかつて本島産なりと称するアンモナイトの化石を貰ったがその出所が明でなく、本島産とは思われないものがある。岩崎重三博士[(19)]は岩質の類似から本層を秩父古生層に対比している。

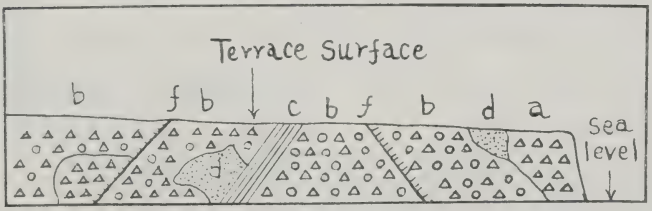
2. 下 部 マ ッ プ 層 (Lower Map Beds)

マップ島に主として発達し、ヤップ層上に著しい不整合で載っている角礫岩層である (第56図)。本角礫岩には2種類がある。その1は單元的で塊狀角閃岩・片狀角閃岩・閃緑岩等唯1種の角礫から成っており、その2は多元的で角閃岩・角閃片岩を主体とし、これに混入して各種の岩石の角礫を見る。ここに注意すべきことはこの中に本諸島に於て未だ露出が知られていない處の雲母片岩・片麻岩・正長石岩の如きものを多数含んでいることである。

この両角礫岩の上下関係は判然せず、野外に於て交互にその露出を見る (第57図)。單元的のものは断層角礫岩、多元的のものは基底礫岩の如き性質を有するものと思わ

第 57 図 (Fig. 57)

ヤップ、トミル島東岸海崖の露頭
Outcrop in sea-cliff of east coast of Tomil I., Yap



a. Breccia of amphibolite b. Breccia (Polygenetic)
c. Shale d. Sandstone f Fault line

れるが全部が必ずしもそうでないようである。本層中には未だ化石の発見がない。

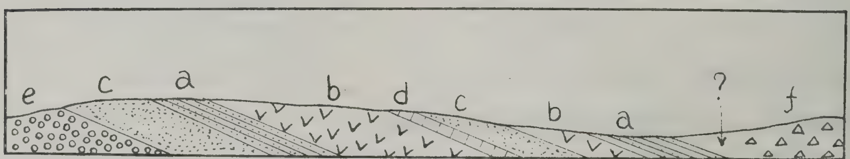
3. 上 部 マ ッ プ 層 (Upper Map Beds)

マップ島西岸のパラオ島（Parao I.）対岸に於て標式的の露出を示す。下層は砂岩・頁岩・凝灰岩・泥灰岩の互層であり、基底と思われる部に礫岩がある（第58図）。本層は一般に紅色を呈し、層理美しく、その砂岩には偽層が発達し、一部には層間異常褶曲を見る。砂岩・泥灰岩中には稀に化石を含み凝灰質砂岩中より *Miogypsina*、泥灰岩中より *Globigerina* を発見するを得た。

第 58 図　(Fig. 58)

ヤップ、マップ島西岸道路切割の断面

Section exposed in road cut at west coast of Map I., Yap



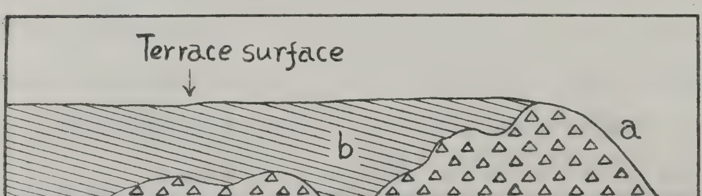
a. Sandy shale　b. Tuff　c. Sandstone　d. Marl　e. Conglomerate
f. Agglomerate　a～e. Upper Map Beds　f. Tomil Andesite

本層の上層は塊状無層理の角礫層であり、その性質は前記の下部マップ層に酷似する。従って単独に角礫岩のみ露出している場合には下部マップ層か上部マップ層か判断に苦しむ。上部マップ層と下部マップ層との関係は数箇所に於て観察され、鮮明なる侵蝕不整合であることを知る（第 59 図）。本層はその含有化石（*Miogypsina*）の共通から南部マリアナ群島のタポーチョ石灰岩に対比し、中新統としたのであったがタポーチョ石灰岩とラウラウ石灰岩とは古生物学的に区別されないことが明にされた今日、ラウラウ石灰岩に対比するのが寧ろ妥当であり、漸新統と見るべきものであろう。

第 59 図　(Fig. 59)

ヤップ、マップ島北端の海崖の露頭

Outcrop in sea-cliff of north end of Map I., Yap



a. Breccia (Lower Map Beds)　b. Sandstone (Upper Map Beds)

4. ト ミ ル 集 塊 岩 (Tomil Agglomerate)

トミル台地に標式的の露出あり、普通輝石安山岩の熔岩・集塊岩・凝灰岩から構成されているも集塊岩を主体とする。安山岩には杏仁状構造が見られる處がある。多くの場合風化糜爛し

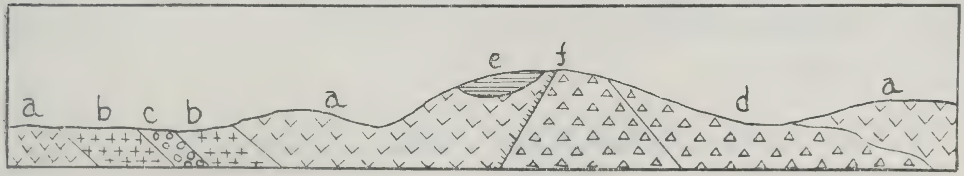
その表面にはボーキサイトの良好なる発達あり、新鮮なる面を見ることはなかなか困難である。集塊岩中には石英脈と共に重晶石の結晶を見る。

本層は数箇所に於いてマップ層上に不整合に載っていることが明にされているが、多くの箇所に於いて風化その他の関係で両岩の接触を見ることは困難である（第60図）。本層は安山質たる点に於てサイパンのドンニー層と共通し、その層位学的位置からドンニー層に対比されるものである。

第 60 図 (Fig. 60)

ヤップ、トミル島道路切割の露頭

Outcrop in road cut of Tomil I., Yap



a. Agglomerate
b. Andesite (Tomil Andesite)
c. Conglomeratic agglomerate
d. Breccia (Map Beds)
e. Terrace deposits

5. ガリム石灰岩（Garim Limestone）

ヤップ本島南端のガリム島（Garim I.）とイリック島（Irikku I.）とを構成している石灰岩である。岩質は白色堅硬、珊瑚石灰岩を主とし、ハリメダ石灰岩を副とする。性質は南部マリアナ群島のマリアナ石灰岩に酷似する。トミル集塊岩とは直接の接触は無いが四囲の事情よりその上に不整合に本石灰岩が来ているものと思惟される。

6. 段丘礫層（Terrace gravel）

第2・第3段丘面上を薄く被覆する礫層であり、角閃岩・輝緑岩・石英等の礫より構成されている。又褐鉄鑛礫・赤鉄鑛礫もこれと混じ同一位置にある。

7. 隆起汀堆積層（Raised beach deposits）

海岸平野を構成する堆積物であり、汀線に接した處は有孔虫砂・珊瑚礫を主とし、この中に豊富に樹状珊瑚・貝殼の破片を藏するを見る。山麓に接した處で古期層の風化産出物である處の赤褐色粘土が主体を為している。

8. 隆起珊瑚礁石灰岩（Raised coral reef limestone）

礁原上にあり、滿潮時にも水面上に現出している處の海図にあるいわゆる露岩・干出岩のあるものを指すものである。しかしてこれらは総て造礁珊瑚の侵蝕残塊であり、ヤップ港口の前記エントランス岩はこの好例であり、その高さは礁原上 2.2 m である。隆起汀堆積層とは直接

の接触は無いが、恐らく同時代であり、前者の一部は却って後者より若い。

9. 現　成　礫　岩（Recent conglomerate）

マップ島東海岸汀線の處に、汀礫が石灰質物により膠結され、礫岩を構成している。その表面は著しく平坦でベンチ狀を為し、干潮時に干出する。この形態と位置は南部マリアナ群島の現成石灰岩と同一であるがその組成物質に於いて大いに趣を異にする。即ち彼にあっては珊瑚砂礫・有孔虫砂より構成されているに対し、これにあっては角閃岩等の古期岩類の礫から構成されている。

10. 構　　造（Structure）

構造線は大体島軸の方向と一致するのが主であり、大溺谷は多くこの構造線に沿うているようである。尙断層褶曲の運動は殆んどトミル集塊岩噴出後であり、かつガリム石灰岩の堆積前であるように觀察された。

D　パラオ群島　(Palau Group)(44)(58)

パラオ群島の盟主たるパラオ諸島の層序を古期層より順次略記する。

1. カムセツ層（Gamusetsu Beds）

パラオ本島西側のガスパン灣北岸カムセツ（Gamusetsu）近傍に僅かに露出する地層であり、下部は緑色の角礫質礫岩、上部は石英粗面岩の集塊岩である。礫岩中に石英粗面岩及び閃緑岩の礫を見る。本島最古の地層と思惟されるが多少の疑問がある。

2. バベルダオブ集塊岩（Babelthuap Agglomerate）

パラオ本島（バベルダオブ島）の大部分を占める地層であり、集塊岩を主体とし一部には熔岩存す。本層の下部は石英安山岩の集塊岩と凝灰岩でこの中に豊富に閃緑岩塊を藏している。中部は角閃安山岩の集塊岩、上部は普通輝石安山岩の集塊岩と凝灰岩の互層でありこの中に二・三枚の砂質凝灰岩の薄層を挾在している。ここには又閃緑岩の團塊を見る。杏仁狀安山岩の集塊岩と熔岩とは最上部を代表するものか。處々に岩脈の貫入が見られ、又一部に於いて変朽安山岩化しているのを見る。コロール島に於いては最上層に石英安山岩の熔岩を有す。

3. ガルドック層（Garudokku Beds）

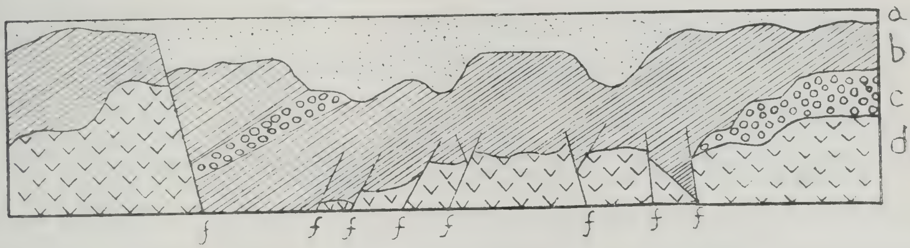
パラオ本島北端のアルコロン半島及びガルドック湖四辺に標式的に発達する地層であり、凝灰質砂岩・凝灰質頁岩・泥灰岩の互層を主体とする。本層は美しく成層し本群島地層の示準層を為すものである。下部は集塊岩質の礫岩であり、この中に杏仁狀安山岩の礫と石灰岩塊とを含む。中部の砂岩には漣痕と層間異常褶曲とが見られ、又この中に石灰岩塊を藏す。中部層との間には小不整合あり、上部層の基部に中部層の泥灰岩礫を多数含んでいる。本層は常に傾斜し、時に 80° の傾斜を示す處を見る。しかして多くの場合バベルダオブ集塊岩の上に整合的に来るも第61図に示す如く二・三の箇所に於いて明瞭に不整合面を見ることができる。石灰岩中に

有孔虫・石灰藻、泥灰岩中に *Globigerina* を有す。グァムのサンタローザ層に最も多くの共通的性質を有するものである。

第 61 図 (Fig. 61)

パラオ、コロール島熱帯生物研究所裏切割の断面

Section exposed in cut behind Institute of Tropical Biology, Koror I., Palau



a. Surface soil
b. Sandstone } (Garudokku Beds)
c. Conglomerate } (Garudokku Beds)
d. (Babelthuap Agglomerate)

4. アイミリーキ集塊岩 (Aimiliiki Agglomerate)

アイミリーキよりアイライにかけてパラオ本島南半部に広く発達する地層であり、安山岩の集塊岩を主体とし一部に凝灰岩を見る。基底の集塊岩は多少礫岩質であり、この中にガルドック層の砂岩•頁岩•泥灰岩の塊を藏している。この集塊岩の特徴は杏仁狀安山岩塊と共に石灰岩塊を豊富に藏していることである。この石灰岩塊は礫として他所より二次的に持ち来たらされたものでなく、この集塊岩と同時の堆積であることがその接触狀態から推して明である。この石灰岩は造礁珊瑚・有孔虫・石灰藻から形成されており、この中から淺野清氏により *Pelatispira* が檢出された。

ガルドック層との関係は普通整合的であるが2箇所に於て不整合関係にあることを目撃し得た。恐らく両層の関係は微弱なる不整合であろう。本層はグァムのバラノス安山岩に最も多くの共通的性質を有する。

5. アルモノグイ集塊岩 (Almongui Agglomerate)

ルイス、アルモノグイ山にその標式的の発達を示す。主として北部地方の山頂に発達する地層であり、残丘の形をとることが多い。本層は複輝石安山岩の集塊岩と凝灰岩との互層であり、遠望する時成層狀態鮮明で多くの場合10° 前後の傾斜を示している。しかし接近して見る時は無層理塊狀である。石灰岩塊及び閃綠岩塊を全く混入していないこと、変朽安山岩化せず金属鑛床の胚胎を見ないこと等により前述のバベルダオブ集塊岩・アイミリーキ集塊岩から区別される。アイミリーキ集塊岩との接触関係は未だ十分究明されていないが恐らく不整合であると思惟される。本層はヤップ島のトミル集塊岩に近似の性質を有するものである。

6. アイライ夾炭層（Airai Lignite-bearing Beds）

パラオ本島南半のみに分布し前記地層とは著しい不整合関係にある。層の厚さは大体40m以下で薄いものである。大体3層に区分される。下部層は砂岩を主とし基底に礫層を見る場合あり、中部層は白色又は黄褐色の粘土、上部は樹状珊瑚を含む灰色粘土であり、この間に1—5枚の薄い褐炭又は泥炭、炭質頁岩を挾んでいる。ネラサカ島（Nerasaka I.）に於ては例外的に厚く、褐炭の厚さ3.5mに達している。褐炭中に現在ミクロネシア（Micronesia）に絶無でフィリッピン・ニューギネアの高地に現存する處の毬果植物 Dammara の樹幹と花粉とを有することは注意すべき事実である。[(54)]

本層は一般に水平に近く成層しているが局部的に 10°前後の傾斜を示す處がある。パラオ本島の第3段丘面がこの夾炭層の堆積面とほぼ一致していることは注意すべきことである。尚本層は四周の地形と堆積狀態より推して準平原に僅かに切り込んだ湾入の堆積物であると想像される。グァム島のタロホホ夾泥炭層にその性質が酷似しこれに対比されるものである。

7. パラオ石灰岩（Palau Limestone）

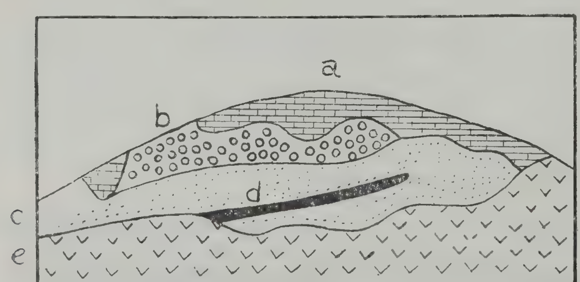
パラオ諸島南部の石灰岩島を構成する石灰岩であり、その性質は南部マリアナ群島のマリアナ石灰岩に酷似するものである。前記アイライ夾炭層との関係を見るに一見整合的であるが、第62図に示す如く基底に礫岩ありかつ著しい不規則面にて夾炭層に接する露頭の存すること、分布区域の異なること等から推して両者の間に不整合関係の存することが明である。

アイライ夾炭層上に載っているパラオ石灰岩の層序は下部より礫岩（珊瑚塊多し）、*Acropora*・*Montipora* のみを含む灰色の砂岩・砂・粘土、更に上層になるに従って石灰の度を増し泥灰岩となり、遂に石灰岩に移化している。多くの地域に於ては本層は集塊岩に直接に載っており、下層は *Acropora*・*Montipora* のみの褐色又は淡紅色の石灰岩であり、鮮明な層理を示し、海方に向って 10° 前後の傾斜を示している。上層に至れば淡色となり遂に白色純粋の石灰岩となっている。主として

第62図　(Fig. 62)

パラオ本島アイライ新道切割の断面

Section exposed in road cut at Airai, Babelthuap I., Palau



a. Coral limestone ⎫
b. Basal conglomerate ⎭ (Palau Limestone)
c. Sandy clay ⎫
d. Peat ⎭ (Airai Lignite-bearing Beds)
e. Agglomerate (Aimiliiki Agglomerate)

珊瑚石灰岩であり、豊富に貝殻を蔵す。

8. ペリリュー石灰岩 (Peleliu Limestone)

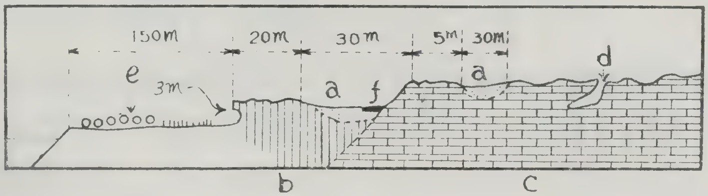
パラオ諸島南部のペリリュー (Peleliu)・ガミリッシュ (Ngemelis)・アンガウル (Angaur) 地方にのみ発達する石灰岩であり、ハリメダ石灰岩を主とし珊瑚石灰岩を副とし、第6段面を構成している処のものである(第63図)。北方に至るに従ってその高さを減じマカラカル近傍に於て全く消滅している。その形態と構造から推して過去の珊瑚礁であることが明であり、南部マリアナの古期隆起珊瑚礁石灰岩に対比されるものである※。

(註) アンガウル[93]では古期アンガウル石灰岩(Lower Angaur L. S.)がこれにあたる。

第63図　(Fig. 63)

ペリリュー島南西岸の断面

Profile of southwestern coast of Peleliu Island.
Showing relation of raised beach deposits to Peleliu L. S.



a. Sand and gravel—Raised beach deposits
b. Ngarekeukl Limestone　　c. Peleliu Limestone
d. Limestone cave　　e. Reef-flat　　f. Pool

9. ガルキヨク石灰岩 (Ngarekeukl Limestone)

ペリリュー島ガルキヨク (Garukiyoku or Ngarekeukl) 海岸に標式的に発達する石灰岩であり、ペリリュー石灰岩同様南部地域に主として発達している。岩質の上に於て前者と区別されない場合もあるが地形的に区別され、かつ珊瑚石灰岩が主体を為し造礁珊瑚が直立している点で区別される (第63図)※。

(註) アンガウル[93]では新期アンガウル石灰岩 (Younger Angaur Limestone) が之にあたる。

10. 隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)

海岸平野を構成するものであり、従って南部石灰岩島と北部火山岩島の東海岸に主としてその分布を見る。有孔虫砂と珊瑚砂礫とを主体とする。その堆積面の高さは礁原上2m前後を普通とするもペリリュー島に於ては砂丘を形成し10mの高さに達している。

11. 現成石灰岩 (Recent limestone)

前記地層とほぼ同様の分布を示す。その性質は南部マリアナ群島の現成石灰岩と全く同一である。ただパラオ本島海岸のものに安山岩礫の豊富に入って来ているのはやや趣を異にしている。

12. 構　　造 (Structure)

パラオ諸島火山岩地帯は10個の地塊に分たれ、しかもこれらは島軸の方向に3列に配列しているのを見る。東海岸地塊にあっては走向はほぼ島軸の方向と一致し、傾斜は一般に急である。1條の向斜軸あり、南方にピッチングを示す。中央及び西海岸地塊にあっては走向は大体東西で島軸の方向にほぼ直交している。1個の背斜軸と2個の向斜軸を認めることができる。

アイミリーキ集塊岩までは傾斜急であるがアルモノグイ集塊岩に至れば一般に緩である。アイライ夾炭層に於てはほぼこれと同様で10°以内の傾斜を示し、海方に向いている。パラオ石灰岩にあっては基底部はこれが載っている基盤岩の表面の傾斜と一致し、海方に向って傾斜を示しているが上部層はほぼ水平である。又この石灰岩中に断層を未だ発見していない。

E　トコベイ群島　(Tobi Group)[41]

トコベイ群島には珊瑚小島（洲島）のみで基底岩の露出がない。珊瑚小島の地質はパラオ群島のガルアングル・ガジャングル・ヤップ群島のクッルーの珊瑚小島と全く同一である。これらは何れも珊瑚・有孔虫・石灰藻・貝殻の砂礫より成り、外洋又は卓越風の風上に面しては珊瑚礫が主体を為し、礁湖又は卓越風の風下に面しては有孔虫砂が主体を為している。これらの堆積物は前述の隆起汀堆積層に対比されるものである。珊瑚小島には多くの場合現成石灰岩の発達あり、その性質は南部マリアナ群島の現成石灰岩に酷似する。原則として外洋岸は珊瑚礫岩、礁湖岸は有孔虫砂岩の形をとる。

F　西カロリン群島 (West Caroline Group)

本群島唯一の隆起珊瑚島たるファエス島はその地形がパラオ群島のアンガウル島に酷似する如く、地質に於ても又酷似するものがある。即ち下層より記載すれば下の如し。

1. カロリン石灰岩 (Caroline Limestone)

第2段丘上に立つ侵蝕残岩を構成するものであり、ハリメダ石灰岩を主体とし、珊瑚石灰岩を副とする。

2. ファエス石灰岩 (Fais Limestone)

第2・3・4段丘を構成する石灰岩であり、珊瑚石灰岩を主とし、ハリメダ石灰岩を副とする。前者にあっては珊瑚の種類も多く（ただし樹状珊瑚は比較的少なし）、後者にあっては前者の空隙を充塡した形に於て存在し、時に非常に軟かで個々のハリメダが分離して砂状を呈していることがある。又断崖下には處々に珊瑚礫岩が露出し、この上部に珊瑚の直立しているのが観察される。

3. 隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)

第5・6段丘を構成する砂礫層であり、有孔虫砂と珊瑚礫とを主体とする。礫の大きさは拳

大より人頭大。一部には砂丘堆積物あり、可成高處に達している。これと同時代のものは全群島の珊瑚小島を構成する砂礫層であり、その性質はこれに酷似する。

4. 現成石灰岩 (Recent limestone)

島民部落のある海岸に標式的に発達する。有孔虫砂岩と珊瑚礫岩より成り、前者は上層に、後者は下層になっている。走向は汀線の方向と一致し、傾斜は海方に 10°。現在礁原の外緣帯に於て形成されつつある石灰藻嶺（後述）を構成する石灰岩もこの現成石灰岩中に含まれるべきものである。尙珊瑚小島の汀線上に現成石灰岩の発達を見る場合の多いことはトコベイ群島と同様である。

G 東カロリン群島 (East Caroline Group)[51][62]

トラック・ポナペ・クサイ島はその地形が前述の如く可成の相異を示しているが地質の方はそれほどの相異を示していない。この事は以下の記載の3島の地質を一見する時了解されることであろう。

1. 基底岩類 (Base rocks)

基底岩類と称するものは粗面岩類を主体とし、他に粗面玄武岩・輝緑岩・斑糲岩・煌斑岩をも含み、本群島の基底を構成するものである。尙粗面岩にはエヂリン粗面岩と方曹達粗面岩の2種が最も普通に見られる。これらの岩石は熔岩流・岩床・岩株・岩脈の形に於て現出している。煌斑岩と粗面岩とが交互し、風化面を見る時一見水成岩を思わしめる如き產出狀態を示す場合が可成多い。これらの岩層を貫いて石英脈あり、ポナペに於てはこの外に閃緑岩脈をも見ることができる（小三角山にこの例あり）。

2. 東カロリン層 (East Caroline Beds)

基底岩類を著しい不整合を以って被覆する地層であり、集塊岩・凝灰岩・礫岩・角礫岩から構成されている。しかして多くの玄武岩脈により貫かれている。トラック諸島の**月曜島層(Getuyōtō Beds)**・ポナペの**マタラニム層** (**Matalanim Beds**)・クサイの**マーレム層** (**Maremu Beds**) はこの層群に入るものであり、相当広範囲に亘って分布しているものであることが最近の調査によって明にされた。

集塊岩は主として玄武岩から構成されているがトラックに於ては、この中に相当多数の閃緑岩が介在し、又極めて稀ではあるが有孔虫化石 *Cycloclypeus*・*Miogypsina*（?）等を含む處の石灰岩片をも藏している。クサイに於てマーレム層の礫質・石灰質凝灰岩中より多数の造礁珊瑚（*Montipora* 等）・有孔虫（*Cycloclypeus* 等）・貝殼等の化石を相当に多く発見されたことは注意すべき事実である。ポナペに於てもマタラニム層より貝化石が出土したと言われているが筆者が未だ発見していない。半沢教授によればマーレム層の化石は鮮新期又は上部中新期を指示するものであるとのことである。又矢部博士は有孔虫化石から推してトラックの月曜島層

は中新期又は漸新期でなかろうかとされている故、東カロリン層は大体中新期見当と見て差支え無かろうと思う。

3. 下部玄武岩（Lower basalt）

橄欖石玄武岩・岩漿玄武岩・霞石玄武岩・白榴石玄武岩等の熔岩又は集塊岩を主体とし、凝灰岩を挾み、岩脈の貫入を見る。岩脈には中粒玄武岩・粗粒玄武岩・橄欖輝石煌斑岩の区別がある。これら岩石の一部は蛇紋岩化が相当に進み緑色を呈するものがある。トラックでは集塊岩中に炭化木が発見された。本岩層は一般に 10°前後の傾斜を示しているがポナペ島に於ては本岩層中のパラゴナイト凝灰岩は 40° の急傾斜を示している。

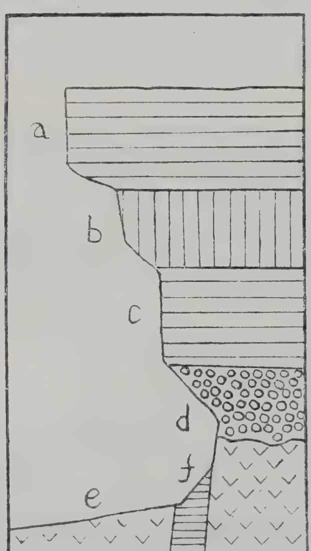
4. 礫　岩　層（Gravel beds）

礫岩及び礫質集塊岩から成る。礫岩は東カロリン層群の礫岩に酷似するも、その固結十分ならず、礫に巨大なもののあることより区別される。クサイの**イーサ層（Iisa Beds）**はこの代表層である。下部玄武岩に接し又東カロリン層群にも接する。トラックの春島に於て珪化木及び海獣の骨片をこの中に発見した以外には本層中から未だ化石を発見していない。上部玄武岩の造る断崖下に小露出を示すのが普通である（第64図）。

第 64 図　(Fig. 64)

ポナペ島セニペン川上流断崖

Notch in cliff at the upper course of Senipen River, Ponape Island



a. b. c. Upper basalt
d. Conglomerate
e. Lower basalt
f. Dyke

5. 上部玄武岩（Upper basalt）

3島の中央最高部を構成している橄欖石チタン玄武岩・橄欖石玄武岩を主体とした玄武岩の一群である。熔岩はその数多く、少なくも5枚以上に達し、その間に薄い集塊岩又は凝灰岩を挾んでいる。しかして熔岩は常に造崖層となり、見事な階段状地形を作っている。ポナペ・トラックに於て特に鮮明である（第32図）。

尚上記本群島の玄武岩類は総てアルカリ玄武岩であり、北部マリアナ群島最近の噴出にかかる石灰アルカリ玄武岩と大いに趣を異にしているものであることは注意すべき事実である。

6. 段丘礫層（Terrace gravel）

第1・2段丘面を被覆する礫層であり、褐鉄鑛化している。トラックの日曜島(Ulalu I.)、ポナペのコロニー背後の平坦面、クサイのカピラ台地（Kapira Plateau）にその標式的のものがある。

7. 隆起珊瑚礁石灰岩（Raised coral reef limestone）

トラック諸島に於て標式的の発達を示す。堤状岩を為し、その高さは大体礁原上3－2m、主として *Porites* の巨塊であるが多くの造礁珊瑚から成る珊瑚石灰岩である場合がある。ポナペのマタラニム、クサイのモート近傍にもこの発達がある。

8. 隆起汀堆積層（Raised beach deposits）

海岸平野の堆積物であり、その性質は前記諸群島のものと大差がない。ただトラック・クサイの海岸平野湿原帯に“熱帯ツンドラ層”（Tropical tundra）と称すべき半腐蝕質物の堆積がある。尚クサイの海岸平野の堆積層は内側より（1）崖錐及び三角洲堆積層(主として粘土)（2）熱帯ツンドラ層　（3）汀堆積層（珊瑚砂礫・有孔虫砂）の順に配列している（第75図）。

9. 現成石灰岩（Recent limestone）

前記群島の現成石灰岩と何等異なる處が無い。尚トラックの冬島（Uman I.）に現成の角礫岩あり、ヤップの現成礫岩と酷似するものがある。

10. 構　造（Structure）

上部玄武岩噴出後には断層運動は全く無かったもののようであるがそれ以前には相当に甚しかったことは事実のようである。特に基底岩類中には多くの断層線が目撃され、岩層も急傾斜を示し、時に直立しているのを見る。しかしこれら断層はその後の噴出の熔岩に被覆されたが為に現在地形に現れているのは極めて少ない。僅かにポナペのナニピル構造線（第29図）・キチー～セニペン構造線・クサイのインネム～オキヤット構造線は地形に現れている。

基底岩はポナペでは走向南北、西傾斜、クサイでは走向北西、西傾斜のものが卓越している。トラックでは下部玄武岩を貫く岩脈の大部分は北東の方向をとっているのは注意すべき事である。尚本島には小断層線が縦横に走り、それに沿うて山崩が頻繁に起っているのが観察される。

H　マーシャル群島・中央群島（Marshall Group・Central Group）

マーシャル・中央両群島の全部が珊瑚島で基底岩の露出が無い。しかしウォッチェ環礁(Wotje Atoll）のアケオ島（Akeo I.）沖（距岸2,200m)、水深1,446mの處とアイルック環礁（Ailuk Atoll）の西方なるチェモ島（Jemo I.）の東海岸に近い海底（水深2,486m）から玄武岩とおぼしい黒色の火山岩片を採集している。無数に存在する礁原上の珊瑚小島（洲島）の地質は前述諸群島の珊瑚小島と大同小異である。唯南鳥島（中央群島）のみはやや性質を異にしているようである（筆者未見）。

尚ラリック列島の南端であると思惟されるオーシャン島はナウル島同様カロリン石灰岩と同時代の石灰岩（**ラリック石灰岩**（**Ralik Limestone**）と仮称する）及びこれより若い地層が存在するものと想像される。かつて矢部・青木両教授によりヤルート環礁から *Lepidocyclina*

を含む第三紀石灰岩礫の発見されたことが報告されてあるからその基底には恐らく第三紀層があることと思考される※。

（註）原子爆弾の試験地として一躍有名になったラタック列島中のビキンニ環礁に於けるボーリングの結果は海面下 200— 300mの處に第三紀石灰岩の存在することが Dr. H. S. Ladd, J. I. Tracey により報告された。從ってヤルートに於ても同樣の石灰岩の存在が期待されるわけである。

I 地質通覽

1. 西部群島の地層對比(60)

西部群島の主なる島8個の地層を對比すれば第4表に示す如きものになるであろう。尙對比には含有化石を重視し、岩質・地形・地層の上下關係を考慮して為された。ただグァム島の地質特に化石の研究は完了せず、從って對比は野外に於ける觀察を基礎とし、その層位学的の事実と地形・岩質の類似等から推して對比を行った次第である。從って將来化石の研究が進めば多少の変更あるべしと思惟するものである。しかしこれらの古期層は珊瑚礁と言う海洋地質学上の大問題に直接の關係が無い故あまり重要なものではない。

2. 東部群島の地層對比(60)

東部群島の主なる島6個の地層を對比すれば第5表に示す如きものになるであろう。尙對比は化石が乏しいため岩質・地形・地層の上下關係から成された。ただし6島中ナウルとオーシャンの両島は未調査である故に正確を欠く。

3. 東西兩群島の地層對比

西部群島のマリアナ—パラオ石灰岩及びこれより新期の地層が東部群島のカロリン石灰岩及びこれより新期の同名の地層にそれぞれ對比されることは含有化石・岩質及び地形の上より疑問の余地がないと思う。從ってその下位に來る西部諸島のハリメダ層群（Halimeda group）と東部群島の上部玄武岩・段丘礫層とが對比される。尙後述の如く面の性質から見てもサイパン島の高位段丘礫とトラック・ポナペ・クサイの段丘礫層とは對比される。從ってサイパンの低位段丘堆積層に對比される堆積物はトラック・ポナペ・クサイの3島には存在しない。

東部群島の下部玄武岩と東カロリン層群とは西部群島に於てその對比層を見ない。尙東カロリン層群が礫岩を主体とする点に於て西部群島のカメリナ層群（Camerina group）の上部（サイパンの電信山層）に類似するがその含有化石を異にしている。

東部群島の基底岩類はその岩質を異にし、かつ無化石なるにより西部群島の地層に對比することは困難である。しかしその変質の程度及び閃綠岩を共通に保有する点から推して石英粗面岩群（Liparite group）又は安山岩群（Andesite group）に對比されるものと思惟する。

	ヤップ (Yap)	パラオ (Palau)	
ム))	ヤップ (Yap)	パラオ (Palau)	アンガウル※ (Angaur)
灰岩 estone)	現成礫岩 (Recent conglomerate)	現成石灰岩 (Recent limestone)	現成石灰岩 (Recent limestone)
積層 deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)
灰岩 estone)	露岩 (Exposed rock)	ガルキョク石灰岩 (Ngarekeukl Limestone)	新期アンガウル石灰岩 (Younger Angaur Limestone)
石灰岩 mestone)	無 (No)	ペリリュー石灰岩 (Peleliu Limestone)	古期アンガウル石灰岩 (Older Angaur Limestone)
・粘土層 and clay)	段丘礫層 (Terrace gravels)	段丘礫層 (Terrace gravels)	
石灰岩 nestone)	ガリム石灰岩 (Garim Limestone)	パラオ石灰岩 (Palau Limestone)	パラオ石灰岩 (Palau Limestone)
タロホホ 泥炭層 ofofo Peat ng Beds)	無 (No)	アイライ 亜炭層 (Airai Lignite bearing Beds)	
	トミル集塊岩 (Tomil Agglomerate)	アルモノグイ集塊岩 (Alumongui Agglomerate)	
灰岩 stone)	上部マップ層 (Upper Map Beds)		
ナ層 ds)	下部マップ層 (Lower Map Beds)		
層 eds)			
安山岩 desite)		アイミリーキ集塊岩 (Aimiliiki Agglomerate)	
ーザ層 Beds)		ガルドック層 (Garudokku Beds)	
安山岩 desite)		バベルダオブ集塊岩 (Babelthuap Agglomerate)	
岩礫) ravel)		カムセツ層(?) (Gamusetsu Beds)	
礫) avels)	ヤップ層 (Yap Beds)	(閃緑岩礫) (Diorite gravel)	

〔※昭和25年の資料による〕

第 4 表 (Table 4)

西部群島地層対比表 (昭和18年)

Correlation table of formations of the Western Group

時代 (Age)	群島 (Group) / 層序 (Order of succession) / 島 (Island)	北部マリアナ (North Mariana) パガン (Pagan)	メディニージャ (Medinilla)	南部マリアナ (South Mariana) サイパン (Saipan)	テニアン (Tinian)	アギーグアン (Aguijan)	ロタ (Rota)	グアム (Guam)	ヤップ (Yap) ヤップ (Yap)	パラオ (Palau) パラオ (Palau)	アンガウル (Angaur)※
	現成石灰岩 (Recent limestone)	最新期熔岩(玄武岩) (Latest lava)(Basalt) 現成石灰岩 (Recent limestone)	無 (No)	現成石灰岩 (Recent limestone)	現成石灰岩 (Recent limestone)	無 (No)	現成石灰岩 (Recent limestone)	現成石灰岩 (Recent limestone)	現成礫岩 (Recent conglomerate)	現成石灰岩 (Recent limestone)	現成石灰岩 (Recent limestone)
現世期 (Recent)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	無 (No)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	無 (No)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)
	新期隆起珊瑚礁石灰岩 (Younger raised coral reef limestone)	新期熔岩(安山岩) (Younger lava) (Andesite) パガン石灰岩 (Pagan Limestone)	無 (No)	タナパコ石灰岩 (Tanapag Limestone)	ダンクロー石灰岩 (Dankurō Limestone)	?	ミリカッタン石灰岩 (Mirikattan Limestone)	メリゾ石灰岩 (Merizo Limestone)	露岩 (Exposed rock)	ガルキョク石灰岩 (Ngarekeukl Limestone)	新期アンガウル石灰岩 (Younger Angaur Limestone)
	古期隆起珊瑚礁石灰岩 (Older raised coral reef l.s.)			チャッチャ石灰岩 (Chatcha Limestone)	ソンソン石灰岩 (Sonson Limestone)	隆起珊瑚礁石灰岩 (Raised coral reef limestone)	ロタ石灰岩 (Rota Limestone)	バリガーダ石灰岩 (Barrigada Limestone)	無 (No)	ペリリュー石灰岩 (Peleliu Limestone)	古期アンガウル石灰岩 (Older Angaur Limestone)
更新期 (Pleistocene)	段丘堆積層 (Terrace deposits)	古期熔岩(安山岩) (Older lava)(Andesite)		段丘堆積層・粘土層 (Terrace deps. and clay)	赤褐色粘土層 (Reddish brown clay)			段丘堆積層・粘土層 (Terrace deps. and clay)	段丘礫層 (Terrace gravels)	段丘礫層 (Terrace gravels)	
	マリアナ〜パラオ石灰岩 (Mariana〜Palau Limestone)		?	マリアナ石灰岩 (Mariana Limestone)	マリアナ石灰岩 (Mariana Limestone)	マリアナ石灰岩 (Mariana Limestone)	マリアナ石灰岩 (Mariana Limestone)	マリアナ石灰岩 (Mariana Limestone)	ガリム石灰岩 (Garim Limestone)	パラオ石灰岩 (Palau Limestone)	パラオ石灰岩 (Palau Limestone)
鮮新期 (Pliocene)	ハリメダ層群 (Halimeda group)		無 (No)	ナフタン石灰岩 (Nafutan Limestone) 高位段丘礫 (Higher terrace g.)	カロリナス石灰岩 (Carolinas Limestone)	アギーグアン石灰岩 (Aguijan Limestone)	ポーニャ石灰岩 (Poniya Limestone)	スメー石灰岩 (Sumay L. S.) タロホホ夾泥炭層 (Talofofo Peat bearing Beds)	無 (No)	アイライ夾亜炭層 (Airai Lignite bearing Beds)	
中新期 (Miocene)	(侵蝕)(Erosion)		(侵蝕)(Erosion)								
	ネフロレピディナ層群 (Nephrolepidina group)		上部メディニージャ石灰岩 (Upper Medinilla Limestone)	タポーチョ石灰岩 (Tapotchau Limestone)	ラソー石灰岩 (Lasso Limestone)		ヒーリッポ石灰岩 (Hirippo Limestone)				
漸新期 (Oligocene)	ユーレピディナ層群 (Eulepidina group)		下部メディニージャ石灰岩 (Lower Medinilla Limestone)	ドンニー層 (Donnay Beds) / ラウラウ石灰岩 (Laulau Limestone)	テニアン層 (Tinian Beds) / カステショ石灰岩 (Kasutesyo Limestone)		タイハノム石灰岩 (Taihanomu Limestone)	アサン石灰岩 (Asan Limestone)	トミル集塊岩 (Tomil Agglomerate) 上部マップ層 (Upper Map Beds)	アルモノグイ集塊岩 (Alumongui Agglomerate)	
	カメリナ層群 (Camerina group)			電信山層 (Densin-Yama Beds) マタンシャ層 (Matansa Beds)	マリノ層 (Marino Beds)		マリール層 (Mariiru Beds)	フェンナ層 (Fena Beds) ナガス層 (Nagas Beds)	下部マップ層 (Lower Map Beds)		
始新期 (Eocene)	安山岩群 (Andesite group)			ハグマン安山岩 (Kagman Andesite) アスベルデード層 (Asuberudēdo Beds)	マリノ集塊岩 (Marino Agglomerate)		マニラ集塊岩 (Manila Agglomerate)	バラノス安山岩 (Baranos Andesite) サンタローザ層 (Santa Rosa Beds) ウマタック安山岩 (Umatac Andesite)		アイミリーキ集塊岩 (Aimiliiki Agglomerate) ガルドック層 (Garudokku Beds) バベルダオブ集塊岩 (Babelthuap Agglomerate)	
	石英粗面岩群 (Liparite group)			三角山石英粗面岩 (Sankakuyama Liparite)	(石英粗面岩礫) (Liparite gravels)			(石英粗面岩礫) (Liparite gravel)		カムセツ層(?) (Gamusetsu Beds)	
前第三紀(?) (Pre-Tertiary) (?)	基底岩類 (Base rocks)			(花崗岩礫) (Granite gravels)	(放散虫珪岩礫) (Radiolarian chert gravels)			(閃緑岩礫) (Diorite gravels)	ヤップ層 (Yap Beds)	(閃緑岩礫) (Diorite gravel)	

〔※昭和25年の資料による〕

時代 (Age)	層序 (Order of succession)	ト	オーシャン (Ocean)	ポカアック (Taongi)
		ーシャル (Marshall)		中央 (Central)
現世期 (Recent)	現成石灰岩 (Recent limtone)		×	現成石灰岩 (Recent limestone)
	隆起汀堆積層 (Raised beach eposits)		×	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)
	新期隆起珊瑚石灰岩 (Younger raised reef lims.)		×	新期隆起珊瑚礁石灰岩 (Younger raised coral reef l.s.)
更新期 (Pleistocene)	古期隆起珊瑚 (Older raise reef lime		オーシャン石灰岩(?) (Ocean Limestone)	
	カロリン (Caroline Li		ラリック石灰岩(?) (Ralik Limestone)	
鮮新期 (Pliocene)	段丘 (Terrace g			
	上部玄 (Upper b			
	礫岩 (Gravel			
中新期 (Miocene)	下部玄 (Lower b			
	東カロリナ礫岩) (East Caroli with a)			
始新期(?) (Eocene)	基底 (Base ro			
前第三紀 (Pre-Tertiary)				

在すべきを示す。

第 5 表 (Table 5)

東部群島地層対比表 (昭和 18 年)

Correlation table of formations of the Eastern Group

時代 (Age)	層序 (Order of succession) ＼ 群島 (Group) / 島 (Island)	西カロリン (West Caroline)	東カロリン (East Caroline)				マーシャル (Marshall)		中央 (Central)
		フハエス (Fais)	トラック (Truk)	ポナペ (Ponape)	クサイ (Kusaie)	ナウル (Nauru)	ヤルート (Jaluit)	オーシャン (Ocean)	ポカアック (Taongi)
現世期 (Recent)	現成石灰岩 (Recent limestone)	現成石灰岩 (Recent limestone)	現成石灰岩及礫岩 (Recent l. s. and cong.)	現成石灰岩 (Recent limestone)	現成石灰岩 (Recent limestone)	×	現成石灰岩 (Recent limestone)	×	現成石灰岩 (Recent limestone)
	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	×	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)	×	隆起汀堆積層 (Raised beach deposits)
	新期隆起珊瑚礁石灰岩 (Younger raised coral reef limestone)		新期隆起珊瑚礁石灰岩 (Younger raised coral reef l.s.)	新期隆起珊瑚礁石灰岩 (Younger raised coral reef l.s.)	新期隆起珊瑚礁石灰岩 (Younger raised coral reef l.s.)	×	新期隆起珊瑚礁石灰岩 (Younger raised coral reef l.s.)	×	新期隆起珊瑚礁石灰岩 (Younger raised coral reef l.s.)
更新期 (Pleistocene)	古期隆起珊瑚礁石灰岩 (Older raised coral reef limestone)	フハエス層 (Fais Beds)				ナウル石灰岩(?) (Nauru Limestone)		オーシャン石灰岩(?) (Ocean Limestone)	
	カロリン石灰岩 (Caroline Limestone)	カロリン石灰岩 (Caroline Limestone)				カロリン石灰岩(?) (Caroline Limestone)		ラリック石灰岩(?) (Ralik Limestone)	
鮮新期 (Pliocene)	段丘礫層 (Terrace gravels)		段丘礫層 (Terrace gravels)	段丘礫層 (Terraceg ravels)	段丘礫層 (Terrace gravels)				
	上部玄武岩 (Upper basalt)		上部玄武岩 (Upper basalt)	上部玄武岩 (Upper basalt)	上部玄武岩 (Upper basalt)				
	礫岩層 (Gravel beds)		礫岩層 (Gravel beds)	礫岩層 (Gravel beds)	イーサ層 (Iisa Beds)				
中新期 (Miocene)	下部玄武岩 (Lower basalt)		下部玄武岩 (Lower basalt)	下部玄武岩 (Lower basalt)	下部玄武岩 (Lower basalt)				
	東カロリン層群 (East Caroline Beds)		月曜島層 (Getuyō-Tō Beds)	マタラニム層 (Mataranim Beds)	マーレム層 (Maremu Beds)		(含レピドシクリナ礫岩) (Conglomerate with Lepidocyclina)		
始新期(?) (Eocene)	基底岩類 (Base rocks)		粗面岩・玄武岩 (Trachyte・Basalt)	粗面岩•玄武岩•斑糲岩 (Trachyte•Basalt•Gabbro)	粗面岩•玄武岩•斑糲岩 (Trachyte•Basalt•Gabbro)				
前第三紀 (Pre-Tertiary)			(閃緑岩礫) (Diorite gravel)	(閃緑岩礫) (Diorite gravel)					

×は存在すべきを示す。

4. 基盤

東西両群島共に地下余り深からざる處に花崗岩・閃緑岩の如き酸性岩の存在することを暗示する。從来東カロリン群島にはこの種岩石が報告されず又無かるべしと考えられて来たものである。尙西部群島には前第三紀時代の水成岩が或は地表に露出し、或は地下に潜在していると見るべき資料がある。即ちヤップ島のヤップ層、テニアン島の放散虫珪岩礫はこの例である。

5. 火山岩

西部群島の本体を構成するものは安山岩が主体であり、基部に石英粗面岩がある。尙最近の噴出にかかる北部マリアナの火山岩は正規玄武岩である。之れに対し東部群島の本体を構成するものはアルカリ玄武岩を主体とし、基部には粗面岩・斑糲岩を見る。

6. 石灰岩

西部群島には始新期以後現代まで時代を異にする各種石灰岩の発達を見るが東部群島には更新期以前の石灰岩が発見されない。ただし礫としてはクサイとヤルートに、角礫としてトラックに（第三紀）石灰岩が知られている。

7. 火山活動

火山の噴出の時期は数回あり、北部マリアナ群島を除いては鮮新期を最後として活動を中止し、其後の噴出は北部マリアナのみに行われ今日に至ったもののようである。西部群島について見るに火山活動は最初は南部（パラオ群島）に激烈であり、これが時代と共に北進し、ヤップ・南部マリアナを經て北部マリアナに達していると見るべきである。

8. マリアナ—パラオ石灰岩と古期隆起珊瑚礁石灰岩

両石灰岩は西部群島に主として発達し、東部群島にはフハエス・ナウル・オーシャンの3島を除いてはこれを見ない。

9. 新期隆起珊瑚礁・隆起汀堆積層と現成石灰岩

これら新期の地層は東西両群島を通じてほぼ一様に発達している。

10. 地史の相異

次節に明なる如く岩石・地層の上より見る時は西部群島と東部群島とは本質的に相異するものである。しかしマリアナ—パラオ石灰岩堆積時代に至って始めてその二・三のものが同様の地史をたどり始め、新期隆起珊瑚礁石灰岩の堆積時代以後即ち現世期に入るに及んで全群島が同様の地史をたどるに至ったものと思考される。

11. 鑛床

安山岩並に玄武岩地帯にあっては熱帯特有の露天化作用の結果として、その表面にボーキサイト・褐鉄鑛・赤鉄鑛を生じ、石灰岩地帯には燐鑛の堆積を見る。前者は特に平坦面上に厚く堆積し、後者は盆地形態の鮮明な處に特に厚く堆積し何れも地形発達と密接なる關係にあることを示す。

金・亜鉛・銅・滿俺・ニッケル等の金属鑛床は西部群島に於てはユーレピディナ層群（Eulepidina group） より古期の地層に、東部群島にあって基底岩類に胚胎してこれより新期の地層には之れを見ない。

J 地史概觀

以上の事実より東西両群島の第三紀末までの地史を編んで見よう。第四紀以後の地史は珊瑚礁の章にゆづる。

1. 西部群島地史

a 前第三紀時代

時代未詳。地史を編むに十分なる資料を欠く故全く想像の範囲を出ていないのであるが恐らく第三紀前にはアジア大陸に続いていたものであり、大陸の緣辺部を為し、古太平洋に臨んでいたものであろう。その後緣辺部の大沈下の為に海水の蔽う處となり、ただその外緣帯のみが背斜軸にあたっていたがために、いくつかの弧狀山脈として残り、大陸とは全く分離するに至ったものであろう。尙この弧狀山脈の一部は海底山脈であったろう。

b 火山活動・珊瑚礁發達時代

第三紀初期（始新期）に於てこの弧狀山脈上に火山の活動あり、最初は石英粗面岩を噴出し、続いて安山岩の噴出があった。この噴出は一部は淺海底の噴出であり、かつ何回も爆発し、熔岩流・火山塊・火山砂礫・火山灰等を海中に噴出した。尙その当時の海は暖海であり珊瑚の発育には好条件であったがために火山噴出物上には裾礁の発達が見られた。従って火山噴出物中には珊瑚の挾在も見られ（パラオの例）、 珊瑚石灰岩と火山噴出物との互層がここに現出した（グァム・サイパンの例）。この時代の中頃には海面の変化あり、多少深海となり珊瑚の発育が悪くなり、泥灰岩を堆積したことがある（ガルドック層・サンタローザ層）。しかしこの時代にはヤップ山脈上には火山噴出がなかったもののようである。

c 陸化時代

地盤の上昇により淺海の時代から一部陸化の時代に入り、陸地には削剝が行われ陸地周辺の淺海には巨礫層の堆積を見るに至った。しかし淺海には依然として珊瑚の発育あり、珊瑚礁を形成した。又一方火山活動は全く終熄せず火山灰を噴出していた。従って淺海に於ては礫と珊瑚石灰岩と凝灰岩との交互層である處のマタンシャ層を見るに至った。

d 淺海時代

地盤の下降により大地域が再び淺海となり、砂・細礫を堆積し、一方珊瑚の発育もあったので珊瑚石灰岩の堆積（電信山層・フェンナ層）を見た。又この時代に再び石英粗面岩質の火山灰を降らすような火山活動もあった。

e 珊瑚礁の發達時代

漸新期に於て再び全地域が沈下し、ここに全面的に旺盛なる珊瑚の発育があり、新に広域に亘り珊瑚礁の発達（ラウラウ石灰岩等）を見た。しかも地盤の沈下に従って裾礁から堡礁に進化したものもあった。ただしヤップは他地域より比較的深海であったがため珊瑚の発育が無く泥灰岩等（上部マップ層）を堆積した。前時代にも珊瑚の発育はあったのであるが陸上よりの砂礫の注入のため発育がさまたげられ、そのためその堆積物は連続性なくレンズ状を呈せざるを得なかった。カメリナ石灰岩はかくして出来た。

火山活動は本時代に於ても終熄せず、衰微はしたが依然として活動し、マリアナに於ては安山岩質の火山灰を降らし（ドンニー層）、パラオ・ヤップに於ては火山礫を噴出した（アルモノグイ集塊岩とトミル集塊岩）。南部マリアナに於てはこれが始めは淺海底に堆積したが、後期に於ては地盤の下降のためやや深海に堆積するに至った（ドンニー層上部）。漸新期末期に於ては全く火山活動は靜止し、珊瑚礁の旺盛なる発達を見るに至った（タポーチョ石灰岩）。

f　準平原化時代

中新期に至って地盤の上昇あり、然る後やや長期の靜止時代が続きここに準平原化が行われた。パラオとヤップに於ては漸新期末期の石灰岩は全く削剝されるに至ったが、南部マリアナに於ては侵蝕残丘として一部存在した。

g　地塊運動の時代

中新期の後期に於て大地塊運動が起り、南部マリアナは現在の島々に分離し、島それ自身も数個の地塊に分たれ、傾動地塊も生ずるに至った。

h　沈降時代

鮮新期に於てパラオ・ヤップ・マリアナ南部の地盤は沈降し、構造谷は大溺谷となった。しかもこの時代は氣溫が低下し針葉樹の繁茂する處となり、溺谷の谷頭部に褐炭・泥炭層の堆積を見るに至った（タロホホ夾泥炭層・アイライ夾炭層）。

2.　東部群島地史

a　火山活動時代

旧オーストラリア大陸の縁辺部にあたり、火山の活動あり、玄武岩・粗面岩等を噴出し数列の火山列島を形成した。その後その縁辺部の沈下あり少数の火山島を残して海面下に沒した。この火山活動の時代は未詳であるが、第三紀直前か、第三紀初期であろう。

b　珊瑚礁の發達時代

漸新期に於ては火山島の斜面及び沈下火山島頂には珊瑚の着生あり、珊瑚礁の形成を見たことであろう。地盤の沈下に従って裾礁から堡礁・環礁に進化したものもあったであろう。

c　準平原化時代

中新期初期に於て地盤は靜止し、火山噴出もなく準平原化が行われ、火山島は切頭されるに

至った。しかしてその火山列島の大半は海中に沒した。

d　珊瑚礁の發達時代

中新期後期に於て切頭火山島の一部に造礁珊瑚の着生あり、一部に於てはこの面上に礫層の堆積を見るに至った（東カロリン層群)。

e　火山活動時代

再び火山は活動を開始し、莫大なる量の玄武岩質の熔岩流を流出し、又火山礫を噴出し、礫岩上に堆積した（下部玄武岩)。地盤はこれと共に徐々に沈下した。

f　陸化時代

一時的ではあるが地盤の隆起あり、一部陸化した。この時代は鮮新期初期であろう。

g　火山活動時代

火山は3度活動を開始し莫大量の玄武岩質の熔岩流を流出せしめ、熔岩台地を形成した（上部玄武岩)。この時代は氣溫低く火山体の斜面には珊瑚の着生を見なかった。

h　間歇的隆起時代

鮮新期の末期に於て火山島は間歇的に隆起し段丘を形成するに至った。しかし前期に造礁珊瑚の発育がなかったが為礁段丘は形成されなかった。

以上の記載にて明かなる如く東西両群島に於て地史を異にするが最初の火山活動の時代、準平原化時代、第三紀末期に於ける氣溫の低下は共通する處である。尙第四紀の地史は珊瑚礁の章にゆづろ。

K　段丘の性質と対比(59)

西部群島のマリアナ—パラオ石灰岩と東部群島のカロリン石灰岩とはその地質的・地形的性質を同じうし、共にその堆積面が段丘面をなし、いわゆる礁段丘を形成している事実を基礎とし、それに段丘の諸性質を考慮に入れて全群島の段丘の対比を試みた（第1・2・3表參照)。

1.　前マリアナ段丘（Pre-Mariana Terrace）（略称PM-段丘）

マリアナ—パラオ石灰岩・カロリン石灰岩の堆積前の段丘である。サイパンの 200 m-段丘及びこれより高位の段丘はマリアナ石灰岩の最高堆積面（130 m）より上位にあり、マリアナ石灰岩時代の海の被覆を被らなかったことは明であり、従ってこれらの高位段丘はこの前マリアナ段丘に入るべきものである。ヤップの 40 m-段丘及びこれより高位の段丘も同様の理由によりこのPM-段丘に入る。

東カロリンの3火山岩島にはカロリン石灰岩の発達なく、従って段丘の対比は困難であるが、その開析の程度を比較する時最低の段丘を除く全段丘は西部群島の PM-段丘に近似するものがあり、ここに於てこれら高位段丘は PM-段丘の範疇に入るべきものであると思惟される。

前マリアナ段丘は更に上位段丘（PM_1）と下位段丘（PM_2）とに分けられる。上位段丘は第三紀層の堆積面であり、下位段丘は第三紀層の侵蝕面である。

2. マリアナ段丘（Mariana Terrace）（略称 M－段丘）

マリアナ－パラオ石灰岩・カロリン石灰岩の堆積面であり、これは更に上下の2段に区分される。上段（M_1）は古期マリアナ石灰岩の堆積面であり、山頂部に位置するものである。ロタの 340 m-段丘以上、グァムの 240 m-段丘以上の段丘はこれに属す。下段（M_2）は新期マリアナ石灰岩の堆積面であり、山腹斜面に発達するものである。南部マリアナのM－段丘の大部分、ヤップ・パラオの M-段丘の全部はこれに属す。東部群島の M-段丘は高度の関係から M_2 －段丘に入るべきものと思惟する。

3. ペリリュー段丘（Peleliu Terrace）（略称 P-段丘）

西部群島の各島に共通に発達している古期隆起珊瑚礁石灰岩の堆積面である。東部群島に於てはファエスにその発達を見るが恐らくナウル・オーシャンの2隆起珊瑚島に於ても前記のM－段丘下にこのP－段丘が発達していることであろう。

4. 後ペリリュー段丘（Post-Peleliu Terrace）（略称 PP-段丘）

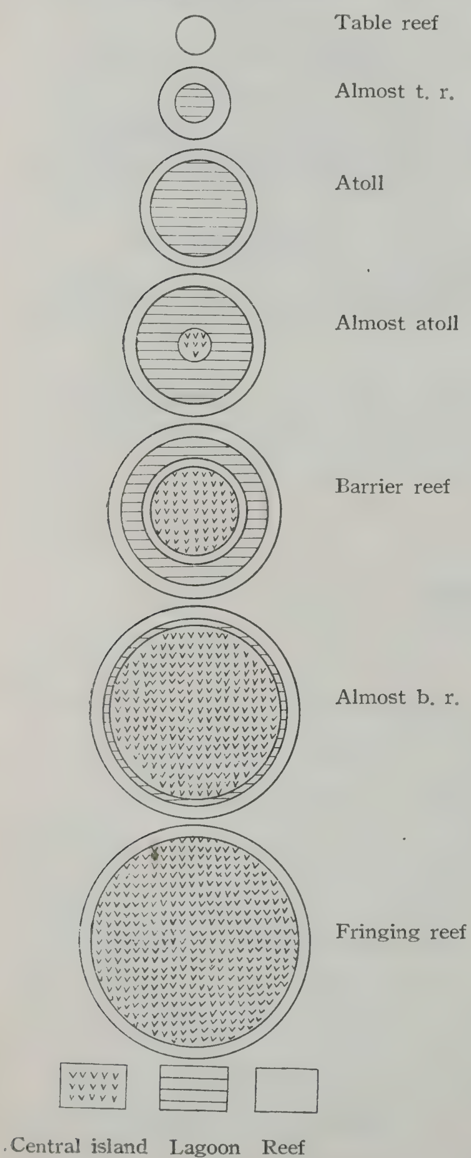
全群島に共通に発達する最低の段丘であり、新期隆起珊瑚礁石灰岩又は隆起汀堆積層の堆積面である。

以上M・P・PP-段丘は前述の如くそれぞれ石灰岩の堆積面であるが、この堆積面の陸方延長線上に於て相当に広い侵蝕面の存在していることは注意すべきことである。

Ⅷ　南洋群島の珊瑚礁

A　珊瑚礁の形態學的分類[61]

第 65 圖 (Fig. 65)
珊瑚礁の模式図
Diagram of coral reef



珊瑚礁問題は古来幾多の学者により論ぜられているが珊瑚礁の分類については余り多く論ぜられていない。筆者は南洋群島に於て多くの珊瑚礁を観察し、これらは形態学的に4個の基本型と4個の中間型に分類さるべきものであることを知った。第65図はその模式図である。

1. 基本型

礁湖 (Lagoon) の有無と中央島 (Central island (基盤岩により構成されている) の有無とを分類の基準とした。

a　裾礁又は岸礁　(Fringing reef or shore reef)

島の海岸に密着する珊瑚礁であり、礁湖を欠くのを特徴とする。

b　堡　礁 (Barrier reef)

島の周囲を防波堤状に囲繞している珊瑚礁であり、礁と中央島との間に礁湖を有す。

c　環　礁 (Atoll or atoll reef)

環状の珊瑚礁であり、中央に礁湖を抱き、珊瑚礁の基盤をなす處の中央島を欠く。

d　卓　礁 (Table reef)

微小の珊瑚礁であり、中央島も礁湖も共に欠く。以上をわかりやすく表示すれば次のようになる。

	裾　礁	堡　礁	環　礁	卓　礁
礁　湖	無	有	有	無
中央島	有	有	無	無

2. 中 間 型

主として礁湖の深浅、広狭を中間型の分類の基準とした。

a エプロン礁（Apron reef）

裾礁の萌芽期を代表するものであり、島の海岸の一小局部に附着しているものである。裾礁が海岸の相当距離に亘り連続的に発達しているのと区別される。無礁と裾礁との中間型である。

b 準 堡 礁（Almost barrier reef）

裾礁と堡礁との中間型であり、礁湖はあれど淺く（大体5—20m、局部的に 20m を越えることがある）かつ狭くいわゆる舟艇通路（Boat channel）又は礁池（Reef pool）の形に於いて存在するものである。

c 準 環 礁（Almost atoll）

堡礁と環礁との中間型であり、堡礁に於ける如く中央島はあれどその面積はこれを囲繞する礁湖の面積に比し著しく小なるものである。

d 準 卓 礁（Almost table reef）

環礁と卓礁との中間型であり、環礁の如く礁湖を有す。しかし礁湖の面積の礁原 （Reef flat） の面積に対する比は環礁に於けるが如く大ならず、かつ深度も著しく小である。

ここに注意すべきことはこれらの分類は自然界の他の分類もそうであるように各々の間に劃然たる境界の存しないということである。即ち漸移の形をとっていることである。従って中間型の又中間型も存在するものである。これら**現水準面珊瑚礁**（Sea level coral reef）と類似の組織と形態を有する珊瑚礁が海面上高く存する時は**隆起珊瑚礁**（Raised coral reef）と称し、常に水面下深く存する場合には**沈没珊瑚礁**（Submerged coral reef）と称される。これらにも理論的には現水準面珊瑚礁同様各々８種の珊瑚礁形態が区別される。しかし事実は調査不十分と言う理由もあってその一部を欠除している。

B 珊瑚礁の分布（附図第３及び別冊の附表を参照）

南洋群島の各群島は前述の如く、地形・地質を異にしているがこれと同様に珊瑚礁も又各群島で特異の分布と発達を示しているのである。これについては既に発表した處[(40)(65)]であるが順序として一応これについて略記する。

1. 現水準面珊瑚礁（Sea level coral reef）

a 北部マリアナ群島

ウラカス・アッソングソン・サリグワン・グーグワンの如き原地形を保持する火山島には珊瑚礁を欠き、アグリガン・アナタハン・モウグの如き幼年期又は早壮年期の火山にはその西側斜面に珊瑚礁が附着し、エプロン礁の形態をとっている。又パガン・アラマガンに於いては開析の程度が幼年期又は早壮年期にある外輪山の斜面に小規模の裾礁の附着を見る。

b 南部マリアナ群島

メディニージャはエプロン礁、アギーグアンでは貧弱なる裾礁を見るにすぎないが他の4島に於いては同一型式の珊瑚礁の発達を見る。即ち珊瑚礁は東西斜面に於て非対称的であり、東側にあっては裾礁又はエプロン礁の形をとっているが、西側にあっては準堡礁の形をとっている。

c ヤップ群島

ヤップ諸島を囲繞して準堡礁あり、その南部にはクッルーの環礁がある。

d パラオ群島

沖ノ鳥島は準卓礁であり、ガルアングル•ガジャングルは環礁、パラオ諸島を囲繞して堡礁、アンガウルを囲繞して裾礁の発達がある。

e トコベイ群島

ヘレン環礁とバンナ・ソンソル・プル・トコベイ・メリルの5卓礁がある。

f 西カロリン群島（第6表）

フハエスを囲繞して裾礁あり、その外にフララップ・グリメス・ピゲロット・ササオン・シュック・北マニラの6卓礁、ロシャップの準卓礁、ウルシ•ゾッホイイヨル・フラアラップ・フィヤオ・オノマライ・ポウラップ・ソロール・メレヨン・フルック・エラト・トアス・ナモチック・エンダービー・ヨルピック・オロールの15環礁がある。

g 東カロリン群島

トラック諸島を囲繞して準環礁、ポナペを囲繞して堡礁、クサイを囲繞して準堡礁あり、又ナウルを囲繞して裾礁を見る。この外にルクテー・ナマの2卓礁、ノムウィン・ムリロ・ミント・オロルック・パキン・アント・モキール・ピンゲラップ・君島•ローソップ•ナモールック・ナチック・サトウワン・エタール・ルクノール・ヌゴール・グリーニッチの17環礁がある。

h ラリック群島

オーシャンを囲繞して裾礁あり、この外にジャバット・エリップ・キリーの3卓礁とウォット・クエジェリン・ナモ・アイリングラプラプ・ヤルート・ウジラン・ウジャエ・ラエ・ナムリック・エボンの10環礁がある。

i ラタック群島

メジチ・チェモの2卓礁、ウートロック・タケ・ブラウン・ビキンニ・ロンゲラップ・ロンギリック・ウォッチェ・マロエラップ・アルノ・ミレ・アイリギンアエ・リキエップ・エルクップ・アウル・メジュロの15環礁とナーリキリックの1準卓礁とがある。

j 中 央 群 島

1個の卓礁（南鳥島）、1個の準卓礁（ウェイク）、3個の環礁（ポカアック・ビカール・アイルック）がある。

2. 沈沒珊瑚礁 (Submerged coral reef)

海面下の珊瑚礁は測深点の少ない現状にあっては その性質を極めることは困難のことであり、従って現水準面珊瑚礁の如く多くの型の珊瑚礁を区別することは困難である。しかし平頂のものと、中央部が深く盆地状を為すものとの2種に区別される。しかして前者は沈沒卓礁、後者は沈沒環礁と見做されるべきものである。測深調査の進行につれ沈沒卓礁と思われているものが沈沒環礁の範疇に入って来るものもできるであろうことは想像にかたくない。

a 北部マリアナ群島

サップライ海底火山にあってはその頂に沈沒準卓礁(水深8m)がある。エスメラルダ洲(水深は 140m と 60m)・新発見礁(水深72m・25m・134m)・荒金礁(水深17m)・25m-礁は沈沒卓礁の形態をとるが果してその頂に珊瑚礁が附着しているか疑問である。何となれば、これらの礁は何れも海底火山であり、しかも最近の噴出にかかると想像されるが故である。本群島中有礁の火山島に一様に40m以淺の處に平坦面の存在することは前述した處であるが、これは沈沒裾礁の疑無きにしもあらずである。しかし今日の處陸上に著明なる沈降地形が見られないので單なる海蝕面と見ている。

b 南部マリアナ群島

ガルベス堆(水深最淺27m)・サンタローズ堆(7m)・45m-礁・新発見礁(52m)は沈沒卓礁と見るべきである。テニアン島の南沖にある巽礁(水深は最淺 6.8m)は断層によりテニアン島から分離したものと思われるが、現在はその頂に造礁珊瑚の発達あり、その形態から1個の沈沒卓礁であることを知る。

c ヤップ群島

唯1個のハンター礁(水深21m)の沈沒卓礁を見るのみである。傳説によればこの礁はかつて島であり、獰猛なる人種が多数住んでいたと。

d パラオ群島

ベラスコ礁は沈沒環礁であり、ペリリュー・アンガウル間に位置する16m-礁は沈沒卓礁の範疇に入るべきものである。

e トコベイ群島

沈沒珊瑚礁を欠く。旧海図にはトランシット礁なるものが記載されてあったが今はその存在が疑問視されている。

f 西カロリン群島(附図第6)

マク、ローリン堆(13m)・最上堆(11m)・タラング堆(26m)・アール、ダルハウシー堆(26m)・オライチリップ堆(16m)・コンドル礁(15m)・新松江堆(15m)・グレーフェーザー堆(15m)・ヒッチフィールド堆(14m)・ガメン礁(5.4m)・ユレニイー堆(16m)・北マニラ礁(17m)・南マニラ礁(18.6m)・レジーエルジン堆(7.3m)の14沈沒環礁と江

陽堆（14m）・明石礁（26m）・オノマライ北東礁（13m）・11m－礁・22m－礁・19m－礁・タラング礁（16m）・タラング南西礁（16m）・ソロール南東礁（13m）・コンドル堆（21m）・コンドル北西堆（20m）・淀礁（19m）・淀南東礁（20m）・エンダービー堆（16m）・ウロア礁（18m）・東ウロア礁（23m）・オライルグロン礁（38m）・西ヤンジー洲（5m）・東ヤンジー洲（Ⅰ・Ⅲ）（12—14m）・ヘレネ洲（9m）・23m－礁・88m－礁・松江堆（13m）の24個の沈没卓礁及び1個の沈没準卓礁（東ヤンジー洲の中央礁（Ⅱ））が分布する。

g　東カロリン群島

沈没珊瑚礁を全く欠く。

h　ラリック群島

沈没珊瑚礁を全く欠く。

i　ラタック群島

唯1個の沈没卓礁キーツ堆（15m）を見るのみである。

j　中央群島

沈没珊瑚礁を全く欠く。

3. 隆起珊瑚礁（Raised coral reef）

石灰岩が主として造礁珊瑚により構成され、しかもその形態が現水準面珊瑚礁と類似する時はわれらはこれを隆起珊瑚礁と見做すことができる。一般に石灰岩は古期になればなる程、溶解作用と結晶作用とが働くため、その中に含まれる造礁珊瑚を摘出、同定するに困難を感ずるに至るのが常である。従って新期の珊瑚石灰岩の如く多量に造礁珊瑚を含有しないとの理由を以って古期の石灰岩を珊瑚石灰岩にあらずと速断するのは当を得ていない。南洋群島の古期の石灰岩、特に第三紀石灰岩にはこの種石灰岩が多い。勿論例外的には古期石灰岩であり乍ら多量の造礁珊瑚を含有する場合もあるのである。グァム島のフェンナ層中の石灰岩はこの例である。南洋群島にはこの隆起珊瑚礁の範疇に入るべき種類のものが可成多く分布しているのである。

地質の項に述べたように、南洋群島には第三紀の初期から今日に至るまで時代を異にする石灰岩を見るがこの中珊瑚石灰岩を主とし、石灰藻（主としてハリメダ）石灰岩を副とするものは古期のものより、ユーレピディナ石灰岩、ネフロレピディナ石灰岩、マリアナ—パラオ石灰岩（カロリン石灰岩）、古期隆起珊瑚礁石灰岩、新期隆起珊瑚礁石灰岩の5石灰岩である。

ネフロレピディナ石灰岩がサイパン島タポーチョの頂上で卓礁、その東斜面で見事な堡礁状の形態をとっており、一見して隆起珊瑚礁を思わしめるものがあるが漸新期の昔より今日までかくの如く成生当時の形態を保持することができるか否か大なる疑問を有するが故にこれを保留するもこれより新期のマリアナ—パラオ石灰岩以下の石灰岩は正しく過去に於て珊瑚礁であったことをその形態と構造が明示している。勿論堆積後地盤運動と侵蝕作用により、多少の変形はしたことであろうが原地形を全く破壊するようなことは無かったことと信ずる。今

マリアナ—パラオ石灰岩（カロリン石灰岩）と古期隆起珊瑚礁石灰岩の作る隆起珊瑚礁の分布状態を見てみる。

a　北部マリアナ群島

この時代の隆起珊瑚礁の発達無し。

b　南部マリアナ群島

南洋群島中最もこの時代の隆起珊瑚礁の発達が良好である。即ちメディニージャに於いては隆起卓礁（多少疑問あり）、サイパンに於いてはナフタン山とハグマン山の山頂に隆起卓礁、全島周囲に隆起裾礁、テニアン・アギーグアンに於いても同様に山頂部に隆起卓礁、又は隆起準卓礁、斜面に隆起裾礁の発達を見る。ロタにあってはマニラ山頂に隆起卓礁の名残あり、マニラ山を囲繞して隆起準堡礁の発達を見る。又タイピンゴット山頂に卓礁の発達あり、全島を囲繞して隆起裾礁の著しい発達を見る。グァム島に於てはラムラム山頂に見事なる隆起環礁の発達あり、この一部を囲繞して隆起堡礁を見る。本島の北半は隆起準堡礁であり、これが南部に至って隆起裾礁に移化している。アプラ湾は隆起堡礁の礁湖と見るべきである。尚本島に於ては古期隆起珊瑚礁石灰岩は海岸斜面に隆起堡礁と隆起裾礁の形にて断続して発達している。

c　ヤップ群島

ヤップ諸島にはヤップ本島南岸に隆起堡礁の残片（ガリム島）が存在する。

d　パラオ群島

パラオ諸島南部にバベルダオブ・マラカル・アラカベサン・コロールの火山岩島を囲繞して隆起堡礁あり、南端部のペリリュー島等には古期隆起珊瑚礁石灰岩（ペリリュー石灰岩）の作る隆起裾礁がある。アンガウル島※には高位に隆起準卓礁、低位に隆起裾礁の発達がある。

（註）アンガウル島の精査の結果(92)(93)は高位と中位にパラオ石灰岩の作る隆起環礁と隆起堡礁とあり、低位にアンガウル石灰岩の作る隆起裾礁の発達していることが明となった。

e　トコベイ群島

この時代の隆起珊瑚礁の発達無し。

f　西カロリン群島

ファエスに於ては高位に隆起卓礁、低位に隆起裾礁がある。

g　東カロリン群島

ナウル島に於て高位に隆起環礁、低位に隆起堡礁と隆起裾礁が発達しているようである。

h　ラリック群島

オーシャン島に於て高位に隆起卓礁、低位に隆起裾礁が発達しているようであるが判然しない。

i ラタック群島

この時代の隆起珊瑚礁の発達無し。

j 中央群島

この時代の隆起珊瑚礁の発達無し。

4. 通　覧

以上を通覧して次の事実を知る。

（1）珊瑚礁は各群島に於てそれぞれ特異の発達を示している。即ち**北部マリアナ群島**に於ては無礁か或いはエプロン礁、発達の程度の低い裾礁を見るのみである。**南部マリアナ群島**に於ては隆起珊瑚礁の発達著しく、かつ現水準面珊瑚礁は島軸の内側（西側又は北西側）と外側（東側又は南東側）とに於て非対称的の発達を示しているのを特徴とする。**ヤップ群島**では裾礁に近い礁原の幅の広い準堡礁が発達し、**パラオ群島**では北より南に珊瑚礁の形態を異にするのを特徴とする。即ち北より沈没環礁・環礁・堡礁・裾礁の順に配置している。**トコベイ群島**では卓礁の多いのを特徴とする。

西カロリン群島は沈没珊瑚礁特に沈没環礁と小型の環礁の多いのを特徴とする。**東カロリン群島**は火山岩島を囲み、準堡礁・堡礁・準環礁と東から西に配列していること、大環礁の多いこと、沈没珊瑚礁の全くないことを特徴とする。尚大環礁と小環礁との境界は礁環（Reef ring）の外周50kmを以って基準とする。**マーシャル群島**はラリックもラタックも共に環礁で、しかも大環礁多く、他種の珊瑚礁を殆んど混入してないことを特徴とする。**中央群島**は南東端より北西端に珊瑚礁の形態を異にした点パラオ群島に似ているが珊瑚礁の種類を異にする。即ち大環礁・小環礁・準卓礁・卓礁となっている。

（2）観点を換えて珊瑚礁の分布を見るに総ての**エプロン礁**と**裾礁**とは第四紀噴出の火山島か又は第四紀の隆起珊瑚島に局限されている。従って3個の例外を除いてはこれらの総ては西部群島に分布している。**準堡礁**は南部マリアナ群島の4大島（サイパン・テニアン・ロタ・グァム）とヤップ・クサイ島に発達する。しかし前者と後者の発達の状態を異にする。これに就いては後に詳説する。**堡礁**はパラオとポナペに**準環礁**はトラックにのみその発達を見る。**環礁**は主として東部群島に発達し、西部群島には僅かにヤップーパラオ群島に4個を数えるに過ぎない。しかしてその小型のものは主として西カロリン群島に、大型のものは主として東カロリン群島とマーシャル群島に密集している。準卓礁はパラオ群島（沖ノ鳥島）・西カロリン群島（ロシャップ）・ラリック群島（ナーリキリック）・中央群島（ウェィク）に各1個づつ散在している。卓礁はトコベイ群島・西カロリン群島・マーシャル群島に散在し、特にトコベイ群島に密集している。

（3）**沈没珊瑚礁**を見るにその大部分は沈没卓礁であり、しかもその大半は西カロリン群島に属しているのを見る。沈没環礁は15個あり、その中の1個（パラオ群島のベラスコ礁）を除い

ては全部が西カロリン群島中に存在することは注意すべき事実である。又東カロリン群島以東には殆んど沈没珊瑚礁の姿を見せていないのは注意すべきことである。

（4）**隆起珊瑚礁**は西部群島に主として発達し、中央部の南部マリアナ群島に於いて極大に達し、ヤップ・パラオ群島これに次ぐ。北端の北部マリアナ群島と南端のトコベイ群島に発達のないのは意味のあることであろう。東部群島にはフヘエス・ナウル・オーシャンの3島を除いては全くこれを欠いている。

（5）珊瑚礁の総数はエプロン礁 5、裾礁11、準堡礁 6、堡礁 2、準環礁 1、環礁64、準卓礁 4、卓礁19、沈没卓礁37、沈没準卓礁 2、沈没環礁15、隆起裾礁10、隆起準堡礁 3、隆起堡礁 3、隆起環礁 3、隆起準卓礁 1、隆起卓礁 7である。環礁が圧倒的に多数を占めているのは注意すべきである。

C 珊瑚礁の性質

珊瑚礁の各種をその標式的に発達している處について観察を試み、その性質を窺うことにする。

1. エプロン礁（Apron reef）

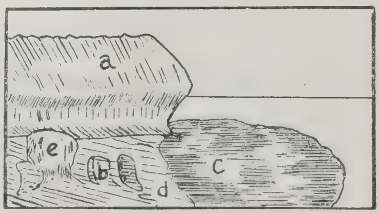
a モウグのエプロン礁（第4図）

モウグ諸島の東島の北端内側、隆起海蝕台下に発達している。礁の幅10m前後、長さ30m、干潮時にその外縁部のみ波間に隠顕し、その他の部分は常に水面下にある。礁原面は即ち、現に生活を続けている造礁珊瑚の表面であり、従って不規則、凹凸に富み、未だいわゆる鋪道状礁原にまで発達していない。礁縁（Reef margin）も又不規則で出入に富む。

b テニアンのエプロン礁（第66図）

第 66 図 (Fig. 66)

テニアン島ダンクロー湾マザロック浜
Mazarokku Beach, Dankuro Bay, Tinian I.
Recent limestone deposited around mushroom rock



a. Raised coral reef limestone
b. Recent limestone
c. Sea level coral reef (Apron reef)
d. Beach sand e. Mushroom rock

テニアン島の東海岸、ウネマザロック・ウネダンクローの砂浜の前面に平面形に於いて半月状をなして発達している。幅は広い處で50mを越える。礁原は平坦であり、内外の2帯に区別される。内帯は低く、かつ砂の被覆あり、外帯は高く、中潮時にも干出する。

c エプロン礁の性質

エプロン礁は珊瑚礁の萠芽期を代表するものであるが故に基盤を為す海岸の一小局部にのみ発達するものである。従って歴史の古い島嶼岸にはこの姿を見ず、第四紀噴出の火山か又は第

四紀の隆起珊瑚島に局限される理である。礁原の幅も長さも共に短かいのが特徴である。干潮時にもその大部分は水面上に現出せず礁原上の珊瑚の発育が悪い。

2. 裾　礁（Fringing reef）

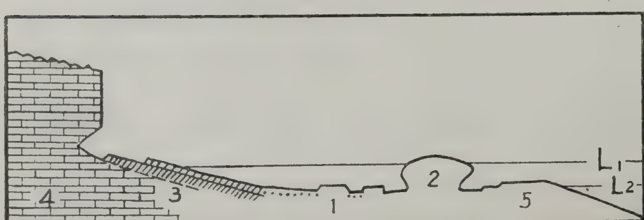
a パガンの裾礁（第6図）（附図第 4）

パガン島の北岳外輪山の南斜面並に中岳の東西斜面に発達してその幅50m前後、その長さ1 km 以内、新期隆起珊瑚礁石灰岩（パガン石灰岩）の外縁崖下に直接して発達している（第 9 図）。礁原は舗道状であり、その外縁は大観する時は単純曲線で示されるが精観する時は無数の小湾入（以後これを縁溝 Marginal furrow と呼称す）と小突出（以後これを縁脚 Marginal spur と呼称す）とが交互して鋸歯状を為し、いわゆる歯状縁（Toothed edge）を為している。礁原面は低潮時に干出し、殆んど水平である處の内帯と、低潮時にも殆んど干出せず海方に向って僅かに傾いている處の外帯とに区別される。内帯の内側部は砂の被覆あり、外側部には處々に凹地あり、この部にのみ珊瑚が発育する。外帯は縁溝の深く入り込む處であり、その縁溝の側壁には石灰藻よく発育し又珊瑚も附着する。

b サイパンの裾礁 (56)

ラウラウ湾岸に発達良好であり（第67図）、その幅最広 100 mである。礁原は大観する時は著しく平坦であり、大体干潮面と一致する。礁原は大体3帯に区別される。内帯は舗道の如く平坦な所あり、又小凹地あり砂に被覆され、海藻の繁茂を見る場合がある。ここに注意すべきことは安山岩塊を戴く石灰岩柱あり、その高さ 30cm、しかして石灰岩柱は有孔虫・石灰藻から成っていることである。この事実は、この礁原の一部は少なくも侵蝕面であることを示すものである。中帯は3帯中最も低い處であり砂の被覆あり、海藻並に珊瑚の生長する處である。尚この帯にも蕈状岩を見ることがある。外帯は3帯中最も高い處で中潮時に干出し珊瑚塊の二・三の点在を見る。又一部には砕波線に石灰藻のみが発育堆積せるいわゆる石灰藻嶺 (Nullipore or Lithothamnion ridge) あり、又石灰藻に被覆されたる階段状のベンチを見る。淺池を戴く段丘狀の地形即ちいわゆる有縁礁池（Rimmed pool）は礁原の一部（内帯又は外帯）に見る處がある。

第 67 図 (Fig. 67)
サイパン島ラウラウ湾岸の断面
Profile of coast of Laulau Bay, Saipan I.

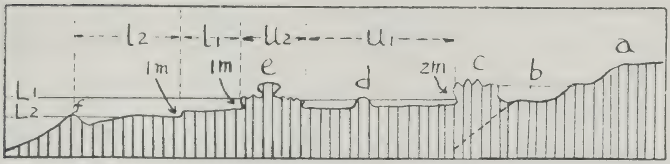


1. Living coral　2. Mushroom rock (Porites)
3. Recent l.s.　4. Chatcha L.S.　5. Nullipore bench
L_1. High tide level　L_2. Low tide level

第 68 図 (Fig. 68)

ロタ島アフェニア海岸の裾礁の断面

Profile of fringing reef of Afenia Coast, Rota I.



a. Rota L.S. b. Raised beach deposits c. Mirikattan L.S.
d. Coral stock e. Mushroom rock f. Nullipore ridge
u_1. Inner zone of upper flat u_2. Outer zone of upper flat
l_1. Inner zone of lower flat l_2. Outer zone of lower flat
L_1. High tide level L_2. Low tide level

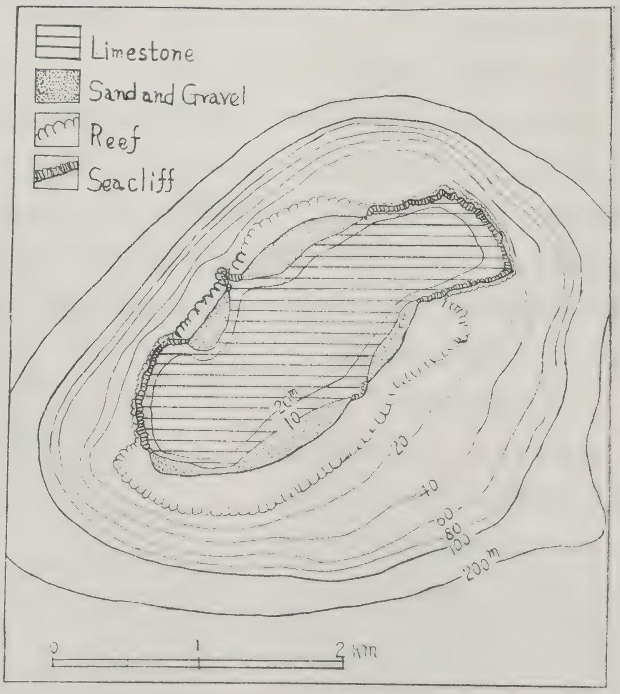
c ロタの裾礁

ロタ島アフェニヤ海岸に良好なる裾礁の発達あり、これを観察するに礁原は上下２段になっているのを見る（第68図）。上段は更に2分されその内帯は平坦で一部は舗道状、一部は砂の被覆を見る。外帯は石灰岩のベンチが幅広く発達し、その高さは内帯面上80cm、この上に更に高さ 2—3 m の露岩（ミリカッタン石灰岩）を見る。下段も又２段に分れ、その内帯は上段外帯とは 1m の小崖を以って接しており、表面は舗道の如く平坦である。この外帯は海方に向って 5° の傾斜を示し、その外縁に石灰藻嶺の発達あり、高さ 80cm。上段外帯は高潮時にも海面上に現出しており、下段は低潮時のみ干

第 69 図 (Fig. 69)

フハエス島とその裾礁

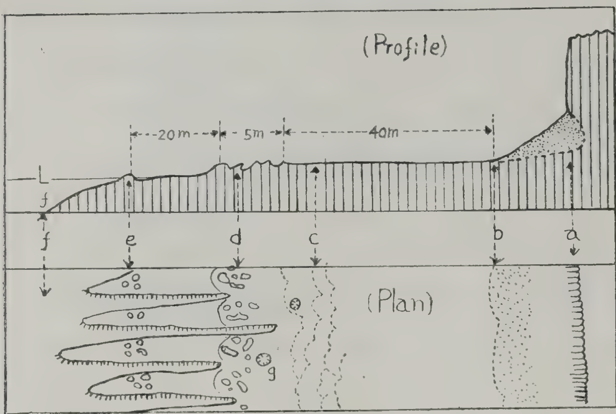
Fais Island and fringing reef



第 70 図　(Fig. 70)

フハエス島裾礁の平面形と断面

Profile and plan of fringing reef of Fais Island



a. Sea-cliff　b. Shore line　c. Stepped Lithothamnion zone
d. Inner Nullipore ridge　e. Outer Nullipore ridge
f. Marginal furrow　g. Pot-hole　L. Low tide level

出する。

d　グァムの裾礁

グァム島の北部西海岸に発達せる裾礁を見るにその幅大体 100m 前後、内外両帯に分れ、内帯は干潮時にも干出せず深さ 1 － 2 m、一部砂によって被覆され、エンハルス (*Enhalus*)・海藻並びに造礁珊瑚が旺盛に発育している。外帯は干潮時に干出し、石灰藻から成る低い段丘状の地形即ち、石灰藻ベンチ (Lithothamnion bench)を現出する。有縁礁池はサイパン・テニアン・ロタに於けるものに類似し、イナラハン海岸その他に発達している（第132図）。

e　フハエスの裾礁

北東岸と南東岸とに裾礁が発達する（第69図）。礁原は舗道状であり、この上には現生の珊瑚は無く僅かに *Porites* あるも死滅している。又干出岩も無い。低潮時には干出し、その表面には砂礫により埋められている甌穴 (Pot-hole) を見る。礁縁には石灰藻嶺あり、その高さは礁原上30cm、その外側には僅かに海方に傾斜した面あり、その端に又石灰藻嶺を見る。これは干潮時に波間に時々出現する。この外側石灰藻嶺は砕波線であり、これより外側は外洋斜面となっている（第70図）（第71図）。

f　裾礁の性質

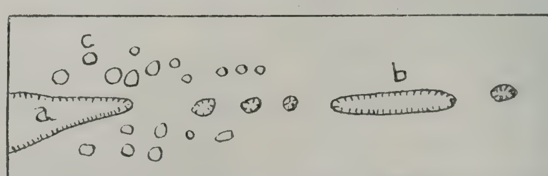
裾礁はエプロン礁に次ぎ珊瑚礁発達の初期を示すものなるが故にエプロン礁同様第四紀火山と隆起珊瑚島岸にのみ発達を見るのは理の当然である。しかしエプロン礁と異なり、その発達は全岸的であるか又は相当の長さの海岸に沿うて連続的に発達している。

第 71 図　(Fig. 71)

フハエス島裾礁の細部、縁溝の頭部を示す

Detail of Fais Fringing Reef

Showing head of marginal furrows



a. Marginal furrow　b. Remnant of marginal furrow
c. Lithothamnion knoll

礁原の幅は砂浜の存在する緩斜面に、又風浪の餘り強くない處に広く、海崖があり、風浪の激しい處に於ては狭いのを通則とする。このことは明に裾礁の発達に斜面傾斜の大小と風浪の強弱とが關連を持つことを示すものであり、理論的にも首肯されることである。上述各島の記載に明なる如く、精観する時は裾礁の礁原は島を異にし又同一島でも場處を異にしてその様相を異にするものであるが大観する時は又多くの共通点も存するのである。即ち一般に礁原はエプロン礁の礁原に比し平坦度が大であり、普通大きく内外両帯に区別され、その内側部は海崖下の海蝕面に連続し（第18図）、舗道状を呈するのであるが普通砂の被覆をうけこの上に海藻特にエンハルスの旺盛なる発育を見る場合が多く、いわゆる**エンハルス帯** (**Enhalus zone**) を形成するものである。この部に侵蝕残岩たる蕈状岩 (Mushroom rock) の多く分布しているのも特徴の一つである。ロタ北岸はその最も著しい例である。内帯外側部は礁原の幅の狭いものにあってはこれを欠くが広いものにあっては辛うじてこれを存在し、多くは砂で被覆され礁原中最も低い部分を為す。海藻・エンハルスに混じて造礁珊瑚が僅かに生育する。ただし、例外的にはグァムの例に見る如く旺盛なる発育を示す處がある。ロタのアフェニヤ海岸の裾礁の内帯外側部は却って高く、中潮時に干出しているのは寧ろ例外的の存在である。

外帯は更に内外２帯に区分され、その内側部は平坦で舗道状、珊瑚の礫塊の点在を見る場合あり、いわゆる**漂礫帯** (**Boulder zone**) と称すべき地帯である。外側部は大観して平坦、海方に向って5°前後の傾斜を示す。**石灰藻帯** (**Nullipore zone**) と称すべき地帯であり、石灰藻の発育の最も旺盛なる部分であり、その外縁部は高く、いわゆる石灰藻嶺 (Nullipore ridge) を形成している場合がある。高さは大体礁原上50cm前後である。石灰藻嶺は普通１列であるが例外的には２列となっている（フハエスの例）。

縁溝はエプロン礁の場合より切込み深く普通石灰藻帯に発源しているのであるが少数のものは漂礫帯に発源している。現生珊瑚は石灰藻帯に極めて貧弱に発育しているに止るが縁溝の壁即ち縁脚の側面と外洋斜面 (礁斜面 Reef slope と称せられる部分) には発育旺盛である。段丘状有縁礁池は或いは礁原の内帯に或いは外帯に存在している。尚この地形については後章に於て詳説する。

3. 準 堡 礁 (Almost barrier reef)

a サイパンの準堡礁[(56)]（附図第７）

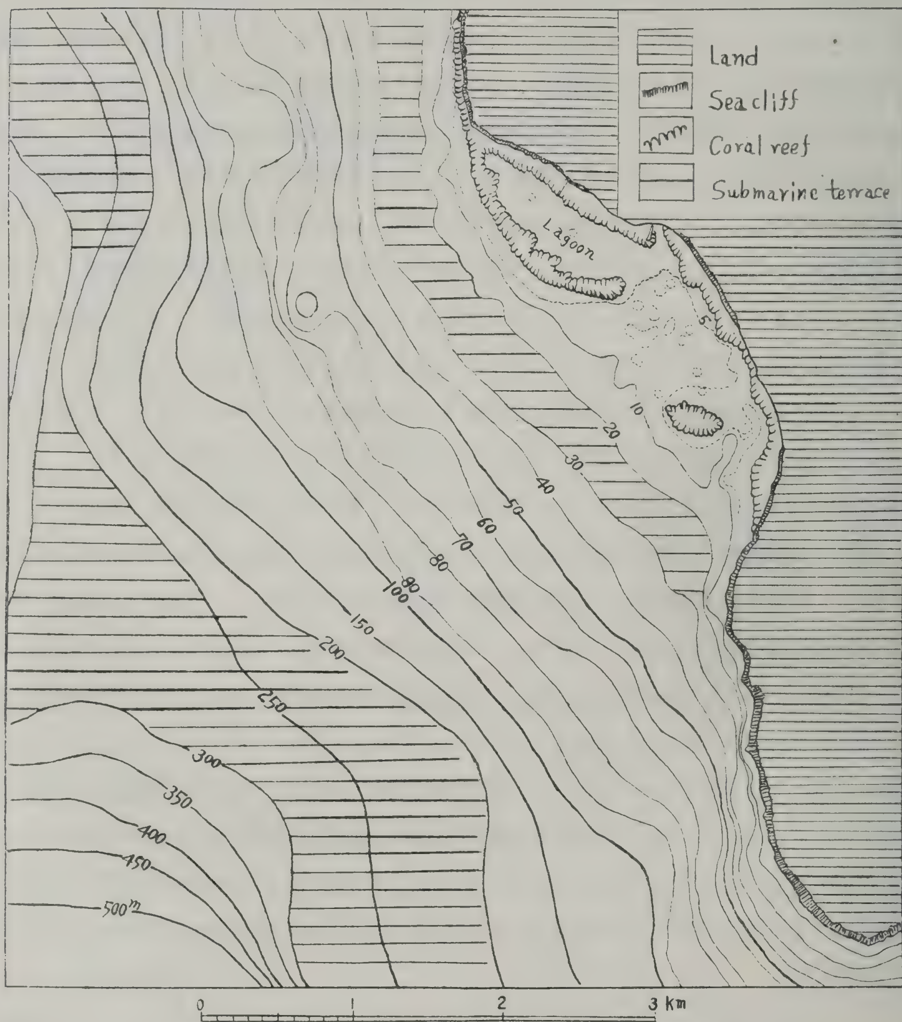
サイパン島の西海岸中部に発育している。海岸より外礁に向って半島状に突出する２個の礁突堤により礁湖は北・中・南の３部に区分される。北部と南部とは礁湖の深さ僅かに 2—3 m に過ぎず、内外両礁は正に合着せんとしている。中部区域の礁湖の輪廓は判然し、最深16m、平均5—10mを示している。

内礁、外礁共に低潮時に干出する。内礁の礁原は砂原を為し、エンハルス・ハリメダの主と

第72図　(Fig. 72)

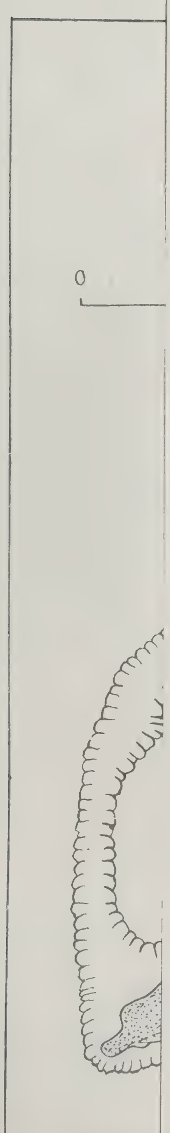
テニアン島西側の水深図

Bathymetric chart of the west side of Tinian I., showing almost barrier reef

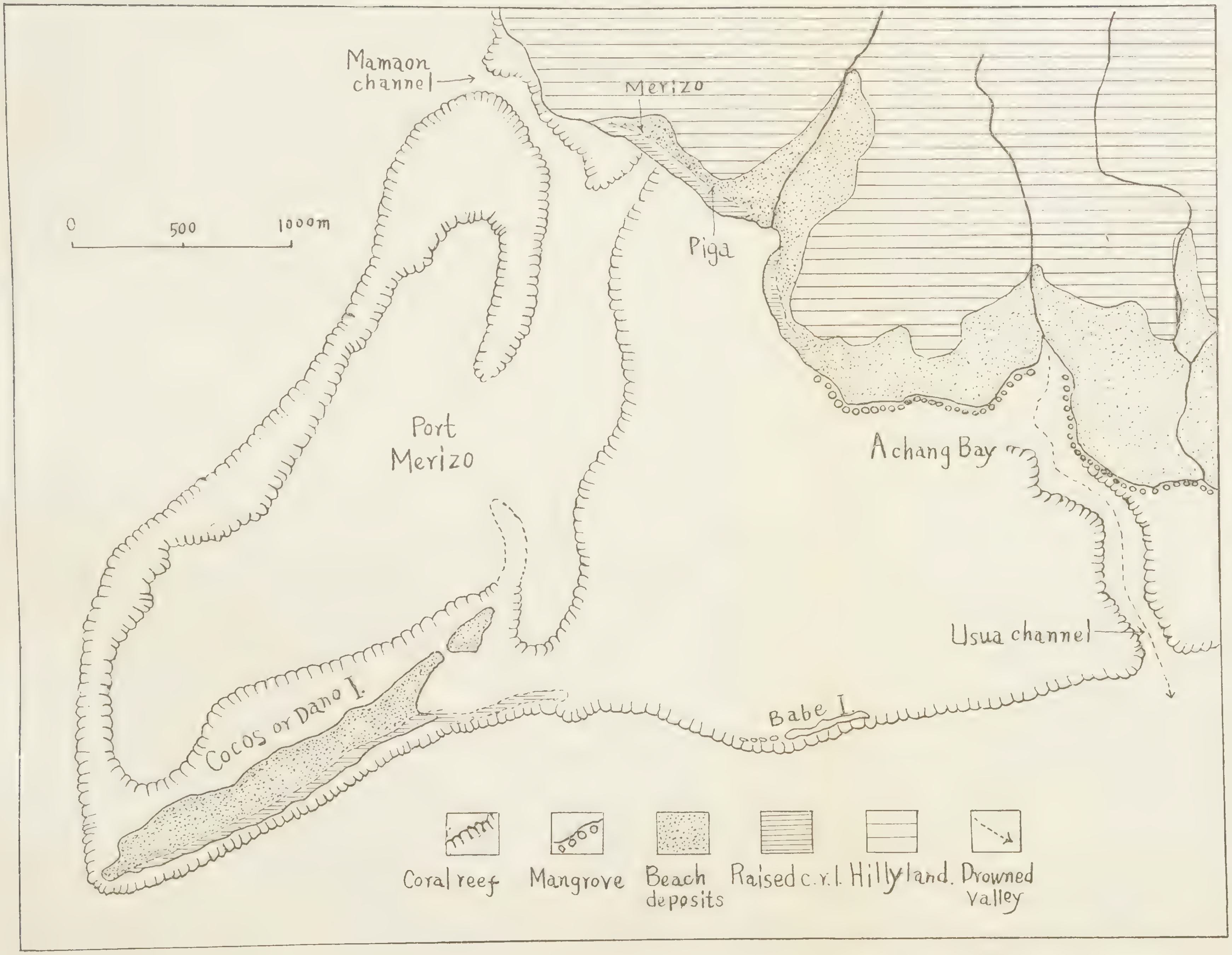


して繁茂する處となっているが外礁の礁原にあっては砂の被覆なく、珊瑚の密着により平坦面を形成している。外礁の外帯は漂礫帯を為し造礁珊瑚の巨礫が散布し、この中に 1.5m の高さの露岩（タナパコ石灰岩）がある。叉外礁の内側に接して唯1個の珊瑚小島（洲島）あり、軍艦島（Maniagasha I.）と称しその外岸に現成石灰岩の発達がある。

テニアン・ロタの準堡礁はサイパンのものに比し、その規模に於て著しく小さくその礁湖の深さも著しく浅い。大体2m前後である（ただし浚渫した處はもっと深い）（第72図）。


0

第73図　（Fig. 73）
グアム島メリゾの準堡礁
Almost barrier reef of Merizo, Guam Island



b グァム島の準堡礁

本島の南西メリゾ海岸にその発達がある（第73図）。輪廓は三角形、内礁上には死滅せる *Porites* が密生し、一部に於てエンハルスの繁茂を見る。西辺の外礁上には漂礫帯あり、南東辺の外礁上には露岩及び干出岩（メリゾ石灰岩）の連続的発達がある。南東端にココス島（Cocos or Dano Islet）と称する2個（過去に於て1個、最近2個に分離す）の珊瑚小島があり、その内側に砂浜と現成石灰岩、外側に新期隆起珊瑚礁石灰岩（メリゾ石灰岩）の発達を見る。礁湖は狭く、かつ浅く水深大体5—10m前後である。メリゾ港として利用されている。尚オロテ半島とカブラス島により囲まれたアプラ湾は現水準面珊瑚礁でなく、マリアナ石灰岩時代の礁湖の名残りと見るべきものである。水深は50mに達す。

c ヤップの準堡礁[47] （附図第5）

ヤップ諸島を囲繞する珊瑚礁は古来裾礁とされ、かつ礁原の幅の著しく広い点に於て先学の注意をひく處があるがこれを精細に観察する時は準堡礁と言うべきものであることを知る。即ち礁湖は狭く、現在礁湾（Reef bay）（トミル湾はこの好例）又は礁池（Reef pool）（ルムング島北東岸にこの好例あり）等の形に於て存在し、その深さも一般に浅く、最深29m、大体20m前後である。

礁原は内外両礁の合着のため、その幅が広くなったと見るのが妥当であり、平均1,200mである。3帯に分れ、内帯は海崖下の海蝕に連なり、多くの場合紅樹帯とエンハルス帯に区分される。砂浜に連なる處に於ては紅樹帯なく直ちにエンハルス帯になる。低潮時に干出する。中帯は砂の被覆を受ける地帯であり、低潮時にも干出せず砂帯と称すべき處である。しかして礁湖(礁湾・礁池を含む)に連なる地帯である。この地帯には生物は貧弱であり、現生珊瑚の点在を見るにすぎない。ただし礁池・礁湾の縁に於て珊瑚の生長旺盛であり、礁池・礁湾の面積が年一年と狭められつつありと思考せざるを得ないものがある。外帯は更に内外の2部に分れ、外側部は漂礫帯であり、高潮時にもその一部を水面上に現出しており、低潮時には完全に露出し、死滅せる珊瑚塊の原と化す處である。内側部は珊瑚帯と称すべき處であり、最大干潮時に一時海面上にあらわれるのみで大部分は常に水面下にあり、珊瑚の生長の旺盛な處である。※

侵蝕残岩は主として内帯に分布し岩石はヤップ層又はマップ層に属する古期岩とガリム石灰岩を主とする。外帯上にもこれら侵蝕残岩とほぼ同高（大体1.5—2.5m）の珊瑚の巨塊（エントランス岩はこの例）の存在することは注意すべき事実である。礁原上には珊瑚小島を欠く。

（註） 故杉山敏郎博士[81]はヤップ港口（第19図）の礁原を精査し、これを次の6帯に分けている。即ち外側より（1）巨礫帯（Boulder zone）（2）礫帯（Pebble zone）（3）カウレルパ帯（Caulerpa zone）（4）エンハルス帯（Enhalus zone）（5）ハリメダ帯（Halimeda zone）（6）紅樹帯（Mangrove zone）である。この1～2帯は筆者の外帯、3帯は中帯、4～6帯は内帯にあたる。

d クサイの準堡礁（第33図）

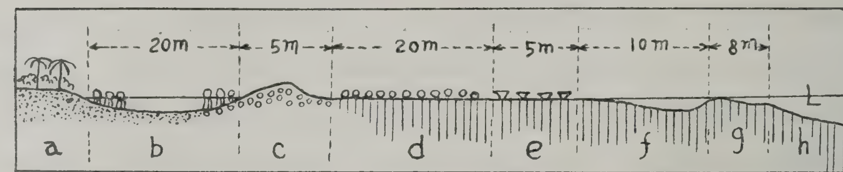
ヤップの準堡礁とは多少その趣を異にしているのである。即ち礁湖は礁池・礁湾として存在するのみならずいわゆる舟艇水路（Boat channel）の形に於いて存在すること、又過去の礁湖の位置に熱帯ツンドラ帯（Tropical tundra）を見ること、外礁上には珊瑚小島が連続的に発達していることこれである。

礁池が北岸に発達しているに対し舟艇水路は東岸と南岸とに発達している。礁湖が内岸と外岸とから砂泥により埋められ（この上に紅樹繁茂す）、中央部のみ残す（第74図）。

第 74 図 (Fig. 74)

クサイ島マーレム海岸の準堡礁の断面

Profile of almost barrier reef of Maremu Coast, Kusaie I



a. Coastal plain
b. Boat channel rimmed by mangrove
c. Coral islet
d. Reef-flat with scattered boulders
e. Reef-flat encrusted with dead coral
f. Reef-flat encrusted with Nullipore
g. Nullipore ridge
h. Outer slope of reef
L. Low tide level

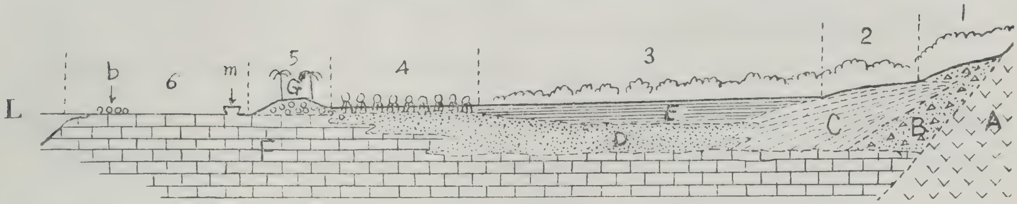
この部が即ち舟艇水路であり、紅樹を縫うて海岸線とほぼ並行に走り、深さは大体2—1m、高潮時にカヌーを自由に航行することができるが低潮時にはその大半は航行不可能となる。熱帯ツンドラ帯と命名した處のものは礁湖を有機質物により埋めた處であり、その深さは最深5m位と推定される（第75図）。礁池の最深は南部のウツワに於いて36mを測定できるが北岸のものは一般に浅く大体10—20m前後である。

外礁の礁原を見るに内外の2帯に鮮明に分れ、内帯は平坦なる鋪道状の礁原面に珊瑚の礫塊が密に分布している部分が多く南岸の一部に於いて第76図に見る如き蕈状岩の発達が著しい。その高さは大体2—3mであり、その或者の上には俗名浜紫壇（ミヅガンピ *Pemphis acidula*）の生長を見る。北岸の内外両礁の合している處に於いては、その礁原の幅は著しく広く、大体700m前後である。内外両帯に分たれ内帯は砂の被覆あり、殆んどエンハルスのみの生長する處であり、珊瑚の生長は極めて悪い。低潮時に僅かに水を残す。外帯はいわゆる漂礫帯を為す部分と、内帯同様砂の被覆あり、ここに僅かに珊瑚の生長を見る部分とがある。礁池の内縁は珊瑚の生長最も旺盛であり、その底は多くは砂である。舟艇水路は多くは無生物地帯を為しているが一部にはエンハルスのみ、一部にはハリメダのみ単独に、旺盛に繁茂している處がある。

第 75 図 (Fig. 75)

クサイ島海岸平野の断面

Profile of the coastal plain of Kusaie Island



A. Foundation rock B. Talus deposits C. Delta deposits D. Coral sand
E. Tropical tundra deposits F. Coral limestone G. Coral gravel L. Low tide level
1. Talus slope 2. Delta surface 3. Tropical tundra zone 4. Mangrove zone
5. Coral islet(Cay) 6. Reef-flat b. Boulder zone m. Mushroom rock

e 準堡礁の性質

南洋群島の準堡礁は大きく2種に区別される。即ちサイパン型とヤップ型である。前者は島の一部に附着するものであり、後者は島を完全に囲繞するものである。しかして前者は隆起地形の発達の著しい島であり、かつ傾動地塊である處の島、後者は沈降地形の発達の著しい島に附着しているのである。

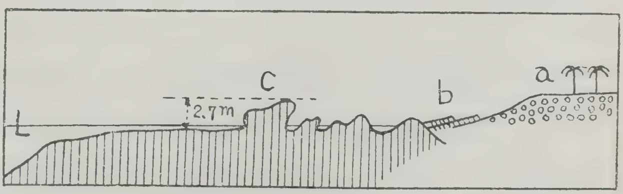
サイパン型準堡礁の性質 サイパン・テニアン・ロタ・グァムの準堡礁はこの型に属す。礁湖は著しく浅く、かつ狭い。内礁の外縁が不鮮明な場合が多く、又砂浜より礁湖底に移化している處がある。外礁はその内縁の輪廓が鮮明を欠き礁原の幅が一般に狭い。外礁の礁原外帯は十分鋪道化せざる處あり、面上には蕈状岩が見られ、又漂礫を見る。内帯には珊瑚の発育を見る。礁原上には珊瑚小島を欠くか極めて少数存在する。

第 76 図 (Fig. 76)

クサイ島ウッワ海岸の準堡礁の断面

新期隆起珊瑚礁石灰岩の蕈状岩を示す

Profile of almost barrier reef, Utwa Coast, Kusaie I. showing mushroom rock of younger raised coral reef l. s.



a. Coral islet b. Recent limestone
c. Mushroom rock—younger raised coral reef l. s.
L. Mean sea level

ヤップ型準堡礁の性質 ヤップ・クサイの準堡礁はこの型に属す。礁湖は礁湾・礁池・舟艇水路の形に於いて存在する。礁湾は溺谷の末端又はその延長線上にあり、舟艇水路は海岸にほぼ並行に走る。礁池は礁原の中帯に存在する。舟艇水路は常に紅樹に縁取られその底にエンハルス・ハリメダの繁茂を見る場合があるが珊瑚が少ない。これに反し

礁湾・礁池の側壁には珊瑚の発育が旺盛である。斜面は従って急、懸崖を為す處さえある。内礁と外礁とが合着して広大なる礁原を形成している處があるが、かくの如き處にあっては明瞭に3帯に区分され内帯は海蝕面に連なり、多くの侵蝕残岩の存する處、中帯は低く干潮時にも水の被覆あり、その外縁に石灰藻嶺を見ることがある。

ヤップ・クサイにて以上の共通性があるが又特異性がある。即ち珊瑚小島はクサイにあっては連続的に発達しているに拘らずヤップには全くこれを見ない。侵蝕残岩はクサイにあっては外礁内帯に少数あるが、ヤップに於ては内礁及び離礁（礁湖内の独立礁）には多数存在する。礁湖を埋積してできた熱帯ツンドラの地形はヤップには全く存在しない。熱帯ツンドラ層・三角洲堆積層・紅樹林を除き成生当時の礁湖を想像する時、クサイの礁湖はヤップの礁湖に比し遙かに大となり、堡礁の範疇に近くなる。クサイの舟艇水路は浅くかつ狭く、その大半は紅樹により縁取られ、その底は砂泥で大体無生物帯を為していること、しかも海岸線に沿うて1條で無く2條、時に3條になっている部分のあることはヤップとその趣を異にする。

4. 堡　　礁（Barrier reef）

a　パラオの堡礁[(9)][(44)]（附図第8）

パラオ諸島を囲繞する珊瑚礁は北東端の一部のみ裾礁の形をとり、その他は堡礁の形をとる。その周の長さは 125kmの大に達する。内礁即ち中央島に附着するいわゆる新生裾礁（Newly generated fringing reef）の形態はその附着する地帯が火山岩地帯であるか石灰岩地帯であるかによってその趣を異にする。火山岩地帯にあっては内礁の発達は良好であり、礁原は大体3帯に分たれ、内帯は海蝕面に連なり、0－2mの厚さの泥土の被覆する處でその表面に紅樹の繁茂を見る處（紅樹帯）、中帯は砂の被覆ありエンハルス・ハリメダの繁茂する處（エンハルス帯・ハリメダ帯）、外帯に於いて始めて珊瑚の生長を見る處（珊瑚帯）となっている。中帯と内帯との境界の部分が一般に深く、ここに塊状の珊瑚（*Favites*・*Porites*等）の生長を見る處もある。尙造礁珊瑚（死滅せるものをも含む）の密度を見るに外帯では *Acropora* が絶対多数を占め、中帯に於いては *Acropora* と *Montipora* が絶対多数を占め、他の造礁珊瑚は少ない。

珊瑚の生長の最も大なる處は外縁斜面である。一般に石灰岩地帯にあっては内礁の発達不良である。即ち礁はノッチ下に断片的に附着し、幅も極めて狭く、紅樹帯を欠いている。又エンハルス帯・ハリメダ帯も欠く場合が多い。外礁は東西両斜面に於いて発達の状態を異にしている。即ち西斜面のものは幅も広く、連続的であるに対し、東斜面のものは幅も狭く、かつ断片的である。水道（Passage）は大小合して19の多きに達しているが溺谷の延長線上にあるものは西水道・アイオカコ水道外一・二に過ぎない。外礁上には珊瑚小島あるも発達よからず5個を数えるのみ。その全部が東辺のみに分布しているのは注意すべきことである。

b　ポナペの堡礁[(51)]（附図第9）

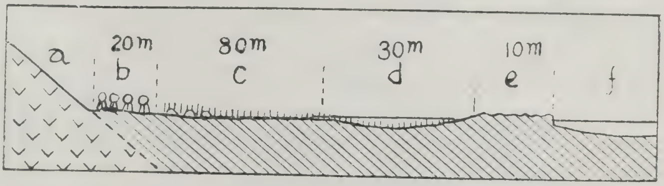
礁環（Reef ring）は輪廓大体六角形、礁断片（Reef segment）は南西辺に多く、北東辺に少ない。外礁の礁原の幅は最広 800m、最狭 400m、礁原の状態はパラオ堡礁と大同小異。内礁の状態はパラオの火山岩地帯に酷似し、紅樹林が更に広く分布しているのを見る（第77図）。又紅樹帯の外縁部が中帯（エンハルス帯）より却って深く、紅樹の氣根下に珊瑚の良好なる発育を見る場合がある。

離礁即ち礁湖内の独立礁もその数多く、その或者は外礁と内礁とが連なり、丁度手を差しのべたような形を為し、南東部にてはこれらが合して裾礁に移化せんとしている。珊瑚小島はパラオ堡礁に比し、その数多く(19個)特に南辺及び南東辺に多く分布している点は前者と趣を異にする處である。礁湖はその幅、パラオ堡礁の礁湖に比し狭く、かつ淺く平均40m、最深87mである。水道はパラオと同数の19であるがその大半は溺谷の延長上にあることに於いてパラオとその趣を異にしている（第28図）。

第 77 図 （Fig. 77）

ポナペ堡礁の内礁の断面

Profile of inner reef of barrier reef of Ponape



a. Foundation b. Mangrove swamp c. Enhalus and worm-pellet zone d. Enhalus zone e. Coral zone f. Coral slope—Inner wall of lagoon

c 堡礁の性質

内 礁 礁原は発達の良好なる部分に於いては内中外の3帯に分たれ、内帯は明瞭に海崖下の海蝕面に連なるものであり、その大半は砂泥帯をなし紅樹林の被覆する處である。中帯は砂帯であり、普通エンハルス・ハリメダ等の海藻の繁茂する處、糞堆・蟹穴の多く存在する處であり、外帯は少数の珊瑚の発育する處である。場所によっては内中帯の境界の處に低地帯あり、少数の限られた種類の珊瑚（*Porites, Favia, Favites*等）が生長している處である。尚現生珊瑚の最も発育旺盛なのは外帯礁縁下の斜面（礁斜面、Reef slope）に於いてである。パラオのコロール島に於いてはこの中帯に安山岩・集塊岩及び凝灰岩の侵蝕面を見る。

外 礁 水道を以って相隔たる多くの礁断片から構成されて一環を為すものである。礁原の幅は全周を通じて必ずしも一様でない。むしろ最広の部分と最狭の部分とが相対している場合が多い。この点パラオに於いて特に鮮明である。かくの如き礁の非対称的発達は海底の斜面・地盤の傾動・潮流・風向等に起因するものであると思惟する。外礁の平面形を見るに外縁は比較的單純な曲線で示されているに対し、内縁は複雑な曲線で示され、或は突堤状に或は掌状に礁湖中に突出している場合が多い。

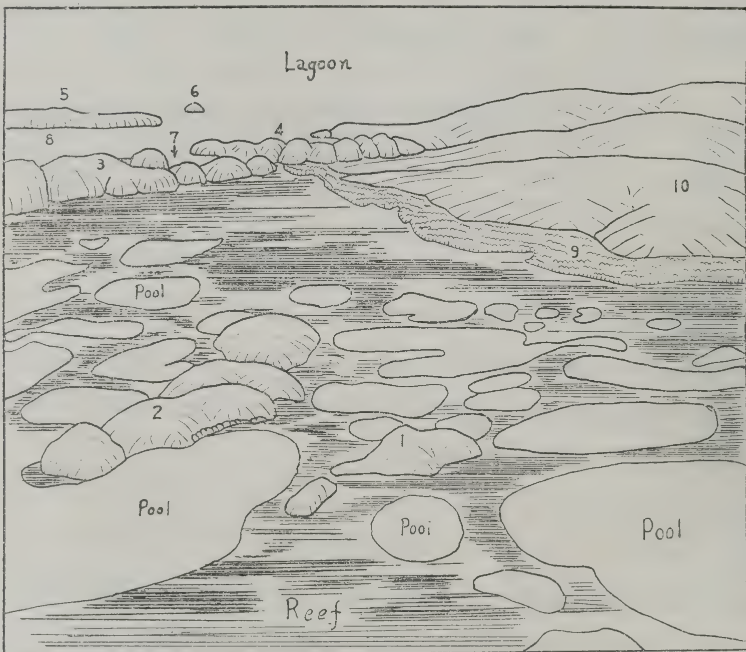
離　礁　　礁湖中に孤立した礁であり、その数は相当に多いものであり、その形も多種多様で柱状・台状・円丘状等がある。これらが互に連絡し或は防堤状となり或は更に複雑となり、礁池を抱くような形をとり遂に蜂の巣を見る様な形にまで変化する。

礁　池　　内礁と離礁とが密着合体する時この間に円形の礁池を残す。この礁池が密集する處を飛行機上より瞰下する時は蜂窩状を呈するに至る。パラオ島南部にかかる好例を見る(第78図）。

第 78 図　(Fig. 78)

バベルダオブ島南岸スケッチ(航空写眞から)

South coast of Babelthuap Island, Palau, sketched from airplane



1. Terebebai (Delepebai) I.　2. Gashokosu (Ngothugothu) I.
3. Gatsureru (Pkulapnei) I.　4. Garayama I.　5. Koror I.
6. Gashumudokku I.　7. Channel　8. Ogurutaageru Passage
9. Mangrove zone　10. Airai, Babelthuap Island

珊瑚小島

内礁上には全く珊瑚小島無く外礁上にのみ存在す。しかもその分布は普遍的で無く一方に偏在する。即ちパラオでは東辺にポナペでは南辺に多く分布している。

礁　湖

礁湖の深度はほぼ一定し、パラオにて60m、ポナペにて40mの平均深度を示し、最深は両堡礁共に85m前後である。礁湖を横断し陸上河の延長線上に多くの溺谷あり、この部に礁湖は最深を示し港湾として利用されているのである。

水　道　　溺谷の末端は礁断片間の水道につきるのを原則とするが礁湖の幅の増大と共に水道と溺谷との関連性が不明になる。尙水道の部はその内側の礁湖底より淺いのを原則としている。

5. 準環礁 (Almost atoll)[62] (附図第10)

南洋群島唯一の例たるトラックの準環礁はその礁環の輪廓は大体五角形であり全周 200 km の大に達し、中央島として玄武岩より構成されている四季・七曜の2諸島を持つ。礁湖の面積

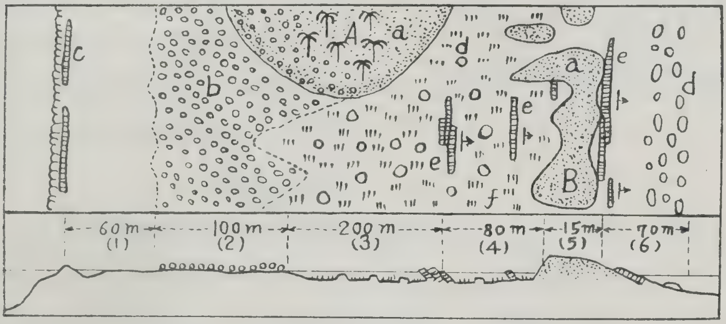
に比し、中央島の面積が著しく小である。その性質を以下に説く。

外　礁　　各辺によりその発達の程度を異にし東辺にて幅と長さの大なる少数の礁断片より構成されているがこれに対し、南辺は幅と長さの小なる多数の礁断片より構成されている。最大の礁断片は長さ32km、幅500mである。外礁の礁原の狀態はパラオ堡礁の礁原と大同小異であるが多少その趣を異にし、珊瑚小島に接しては舗道狀、この上に珊瑚塊（主として*Porites*)の蕈狀岩（高さ礁原上3--1m）が多数存在する。その外洋緣には石灰藻嶺の発達良好であり、

第79図　(Fig. 79)

トラック準環礁の外礁の平面形と断面

Profile and plan of outer reef of Truk Almost Atoll



A. Tori Sima (Cay)　B. Inu Sima (Cay)
a. Sand　b. Gravel　c. Nullipore ridge　d. Living coral
e. Recent limestone　f Halimeda, Enhalus etc.
1. Nullipore zone　2. Boulder zone　3. Halimeda, Enhalus, etc
4. Recent l.s. zone　5. Coral islet　6. Lagoon slope

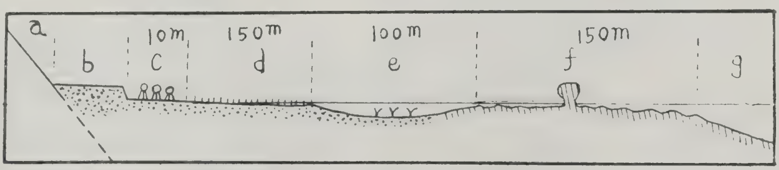
漂礫帯又広い（第79図)。

内　礁　　中央島岸に連続的に発達し、大体3帯に分けられることはパラオ堡礁の内礁の場合と同様であるがその中帯に於いて相当に珊瑚の多いこと、外帯に蕈狀岩の多く分布していることとを異にする（第80図)。蕈狀岩は高さ礁原上最高3m、大体2m前後である。單一の珊瑚株（主として*Porites*)

第80図　(Fig. 80)

トラック諸島冬島の內礁の断面

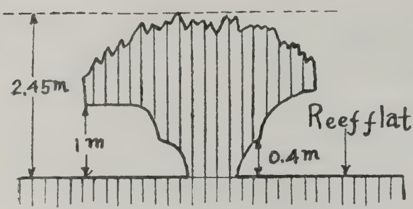
Profile of inner reef of Uman Island, Truk Islands



a. Foundation　b. Coastal plain　c. Mangrove swamp
d. Enhalus and Halimeda zone　e. Sandy zone, coral dotted
f. Coral zone with scattered mushroom rocks　g. Coral slope

より成る場合があり、又多種の珊瑚より成る珊瑚石灰岩である場合がある。尚蕈狀岩の柱部が二重ノッチの形をとっていることは注意すべきである（第81図）。

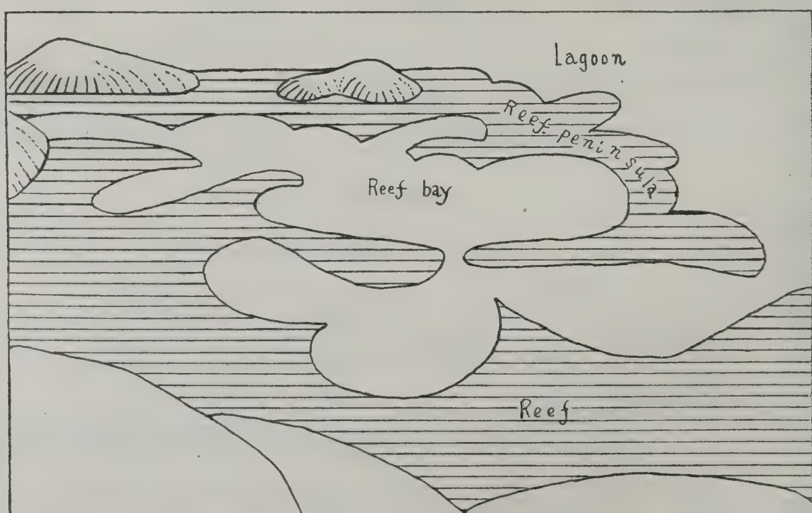
第 81 図 (Fig. 81)
トラック諸島內礁上の蕈狀岩
二重ノッチを示す
Section of mushroom rock on inner reef of Truk Is., showing double notches



離　礁　　その数多く（干出するもの25個）かつその上に珊瑚小島を戴くものが相当にある。この点前述の堡礁、後述の環礁と大いに趣を異にしている處である。離礁と內礁とが連結し複雜な形（輪廓は弧線の集合である）の礁半島（Reef peninsula）を形成している場合が可成多い（第82図）。離礁の礁原內帶は舖道狀であり、蕈狀岩数多く存在し、その形態、高さ共に內礁上のものと全く一致するのを見る（第83図）。外帶は現生珊瑚の発育する處、その外緣には緣溝の発達を見る。

珊瑚小島　　離礁の珊瑚小島にあっては四周に現成石灰岩の発達が良好である。外礁上にも又珊瑚小島多くその数56の多きに達し、その大半は南辺と東辺に位置している。珊瑚小島を構成するものは有孔虫・珊瑚の砂礫であり、稀に玄武岩礫を見る。外礁上のものは外洋斜面が礫、

第 82 図 (Fig. 82)
トラック準環礁に於ける離礁と內礁との連結
Fused anticline of inner reef and isolated reefs of Truk Almost Atoll



礁湖斜面が砂であるのを通則とし、離礁上のものは風上（主として北東）に礫、風下（主として南西）に砂の堆積を見る。

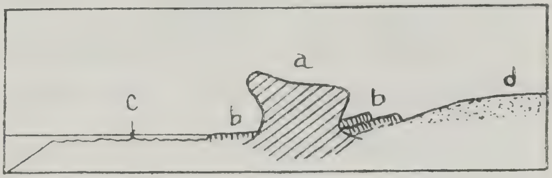
礁 湖 深さは平均 40—60 m、最深85m、東側に深處が偏在している。

水 道 その数多く50余あり、その大部分が南辺に位置する。

新生準堡礁（Newly generated almost barrier reef）

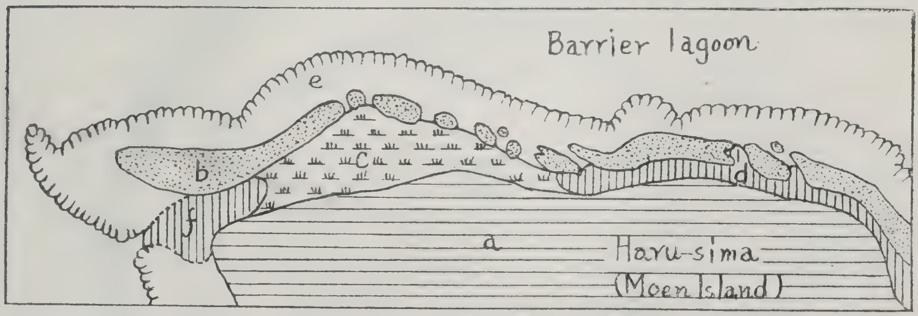
中央島岸にいわゆる新生裾礁即ち內礁の存在していることは前述した處であるがこの裾礁（內礁）の一部が更に進化して準堡礁の形態を示しているのを本諸島の中央島に数多く目擊できる。春島西岸・冬島北岸のものはその標式的のものである（第84図）。即ち中央島岸と內礁緣との間に

第 83 図 (Fig. 83)
トラック準環礁の離礁の断面
Profile of an isolated reef of Truk Almost Atoll



a. Mushroom rock b. Beach sandstone
c. Reef flat d. Cay

第 84 図 (Fig. 84)
トラック準環礁の內礁の一部分、新生準堡礁を示す
Inner reef of Truk Almost Atoll, in part
showing newly generated almost barrier reef



a. Central island b. Coral islet c. Marsh d. Pool e. Reef flat f. Inlet

淺い礁湖あり、その大部分は紅樹の被う處となっておりこれが海岸平野中帯の低地（湿原を為す）に続いている。礁の外緣上には狭長の珊瑚小島が形成され、礁湖の埋積された處では海岸平野外帯の高地（礁原上 1—2m）を為し椰子の繁茂する處となっている。この新生準堡礁はポナペ・パラオの堡礁には全く見られないことであり、トラック準環礁の一大特徴と言われよう。從ってトラック準環礁にあっては嚴格に言えば外礁を含めて二重礁環を為すわけである。この二重礁環の現象はトラックに関する限り、地盤の間歇的沈降により解釈することができる。

6. 環　礁（Atoll）

a オロールの環礁（附図第11）

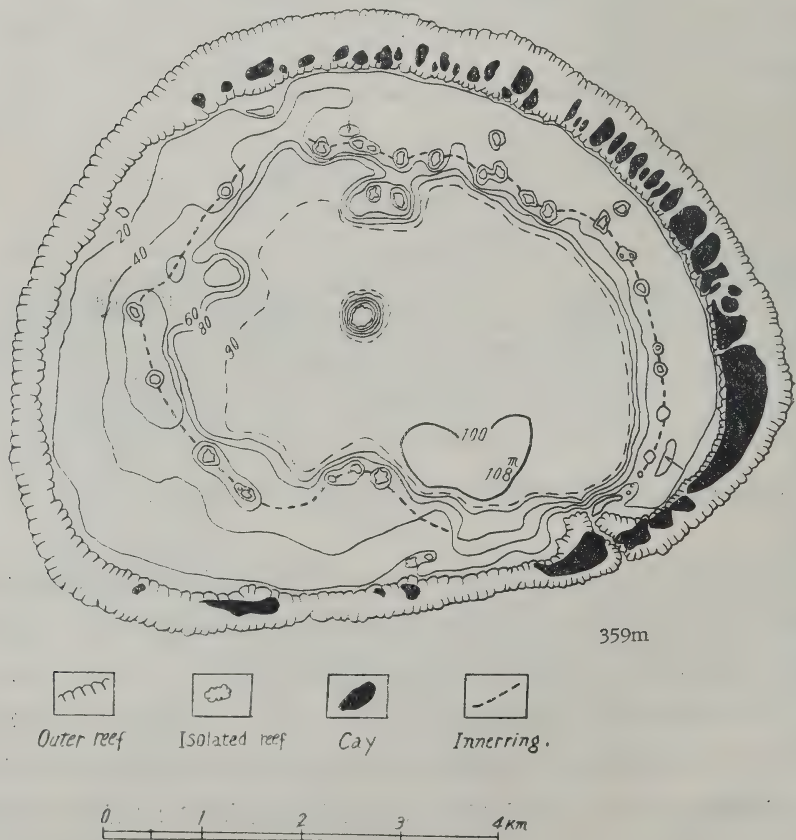
三角形の大環礁であり、北東辺60km、北西辺73km、南辺83km である。干潮時に干出する所謂干出礁は主として三頂点に発達し、辺の部分はその大部分が海面下10—20mの淺礁を為している。頂点の礁上には各1個の大なる珊瑚小島がある。尙珊瑚小島は北東辺に4個あり、北西辺と南辺に殆んどこれを見ないことと、礁環の長さに比しその数の少ないことは注意に値する。

水道はその数多く特に水深の大なるものは南辺に 6個、北西辺に2個あり北東辺にこれを欠く。礁湖の深さは大体50—70mであり、局部的には90mを越える處がある。礁の內縁より急崖を以って40mまで低下し、それより中央に向って自然に低下している。離礁は柱肰又は円丘肰を為し、相当に多く存在している。

第85図　(Fig. 85)

ヌゴールの二重環礁

Double ring atoll of Nukuoro



南西端の珊瑚小島オロール島を観察するに礁湖岸に砂浜、外洋岸に礫浜あり、これらの下には現成石灰岩の発達が良好であり主として有孔虫砂岩であるが一部にはこの下位に珊瑚礫岩を見る。珊瑚小島中の最高所は外洋岸礫浜の背後にあり、珊瑚の礫塊が堆積し、防堤状を為しているのである。これ即ち**礫堤**（Shingle rampart）又は**漂礫嶺**（Boulder ridge）と称せられている處のものである。尙漂礫嶺の背後には凹地を見る。

珊瑚小島外洋岸の礁原を見るに広い處で30m、狭い處で10mである。舗道状を為しその外緣部には石灰藻嶺ありやや高い。礁原上には又所々に干出岩あり、その高さ30—60cm、珊瑚と有孔虫から成る石灰岩である。尙礁原の一部に現生珊瑚がデスク状を為し僅かに生育しているのを見る。

b ヌゴールの環礁（第85図）

円形に近い小環礁であり、その周22kmにすぎず水道はただ1個あり、南東側に位置する。珊瑚小島は46個の多数に上り、しかもこれらが北東の半円周に密集し殆んど礁のみの南西辺と著しい対照を示している。本礁について注意すべきことは礁湖の中央に大なる離礁（干潮時に干出する）の存在することと、礁環が二重になっていることである。内外両礁環の間隔は大体500—1,000m、深さは大体10—20mである。尙礁湖は著しく深く108mに達し南洋群島環礁中の最深値を示すことは注意すべきことである。

礁原は珊瑚小島の礁湖側に狭く外洋側に広い。前者の面上には現生珊瑚の発育を見るも後者の面上にはこれを欠き礁原面は舗道状を為し一部に礫の被覆がある。珊瑚小島の外洋岸には現成石灰岩の発達あり、しかもここに於いて殆んど水平に成層しているのを見る。

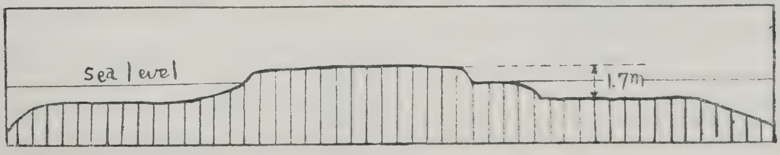
c ヤルートの環礁[37]

菱形の環礁であり、礁周152kmに達す。水道は5個、その内の3個は北東辺に位置する、外礁は水道の處に於いて内側に曲り離礁と連絡し狭長の水路を形成している。礁湖の深度は大体30—40m、離礁は著しく多くその或者は柱状礁を為し、或者は円丘状、或者は円卓状を為す、その最大のものはブレクファスト島である（第86図）。本島は礁原上1.7mの高さにあり、シャコ貝を多く含む石灰岩から構成されている。珊瑚小島はその数85に達し、その内の53個は

第86図 (Fig. 86)

ヤルート環礁のブレクファスト島の断面 離礁の一例

Profile of Breakfast Reef, an isolated reef of Jaluit Atoll

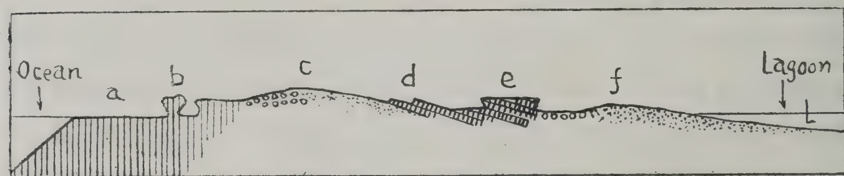


北東辺に位置す。しかし北東辺のものは何れも小島であり、少数なれど大島を有する南東辺と著しい対照を示している。長大島の一なるアイネマン・ヤルート島を見るに殆んど珊瑚礫の構成する處である。この内外両側に珊瑚石灰岩の発達あり、礁湖側のものは水平で礁原との間に1—1.5mの小崖を形成している。外側礁原は舗道状、この上に高さ1.5m前後の蕈状岩（主として珊瑚石灰岩）を見る（第87図）。内側礁原の端に汀線と並行に石灰岩堤の連続的に発達しているのを見る。

第 87 図　(Fig. 87)

ヤルート環礁、ヤルート島の断面

Profile of Jaluit I. Jaluit Atoll, from outer reef to lagoon



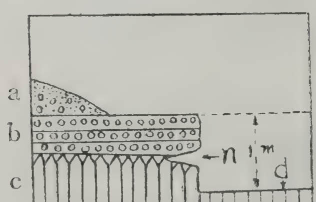
a. Reef-flat of outer reef　　b. Mushroom rock　c. Coral islet
d. Recent l. s.　e. Limestone bench　f. Sand bar　L. Low tide level

ジャボール島に続くヤルート島内岸に於いて第88図に示す如き注意すべき露頭がある。即ち舗道上の礁原面が1mの小崖を以って珊瑚小島と境している。この小崖を構成するものは下部は直立せる樹状珊瑚であり、上部は珊瑚礫から成る礫岩であり、水平に成層している。この礫岩上には珊瑚の砂礫が堆積し、椰子の生長する處となっているのである。尚礁原上には造礁珊瑚の切頭面が多数見られる。

第 88 図　(Fig. 88)

ヤルート島礁湖斜面の断面

Profile of lagoon side of Jaluit Island Jaluit Atoll



a. Sand and gravel (Surface bed)
b. Coglomerate ⎫ Younger raised
c. Erect coral ⎭ coral reef l. s.
d. Reef-flat
n. Notch

d　ポカアックの環礁[37]　（附図第12）

三日月形の輪廓を有する環礁であり凸面を東方に向ける、西辺には一個の狭い屈曲せる水道あり、干潮時には全礁湖の水がこの一水道を通って排水される故一大急流と化する。礁湖の深さは大体10—15mで一般に浅い。この環礁にて注意すべき事は北部の礁環が二重になっていること（第150図）、内外両環の間に深さ3mの水溝の存在することである。又この礁原上には高さ3mの巨大なる珊瑚石灰岩の露岩が蕈状を為して多数存在することである。この最大なるを“三つ岩”と称す。礁の内縁が自然に礁湖底に移化している点の多い

ことも注意すべきことである。

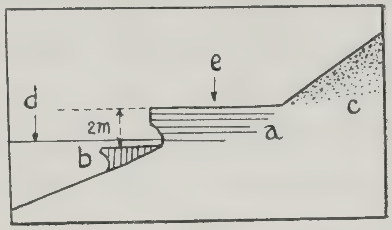
珊瑚小島は多数あり、その全部が東辺に局限されている。珊瑚小島の礁湖岸には珊瑚石灰岩のベンチあり、幅10—20m、高さ礁原上2m、水平であり、その端はノッチを為し、ノッチ下に珊瑚の発育を見る（第89図）。外洋岸には海方に傾く現成石灰岩の露出を見る。珊瑚小島の最高点は普通外洋岸の漂礫嶺中にあるのであるがここに於いては内側の砂丘上にある。高さ大体7m。

第89図　(Fig. 89)

ポカアック島の断面

Profile of Pokaakku Island

Taongi Atoll

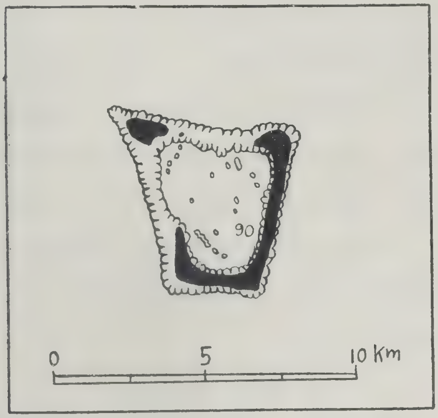


a. Coral limestone
b. Living coral
c. Foraminifera sand
d. Atoll lagoon
e. Abrasion bench

第90図　(Fig. 90)

ナムリック環礁

Namorik Atoll, Marshall Group



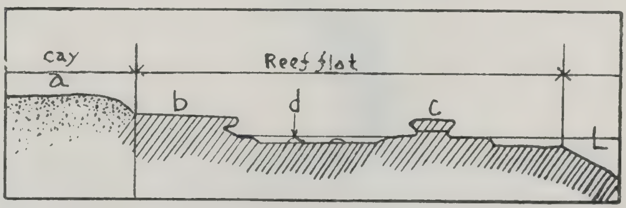
e　ナムリックの環礁（第90図）

梯形の小環礁であり、その周20kmにすぎない。この環礁の礁湖はその大部分は非常に浅く5—10m位のものであるが東半部は急に深くなり60—70mの深さを有し、その中の3箇所に於いては特に深く、最深90mを示す。マーシャル群島中最小の環礁であり乍ら最深の深度を示しているのは注意すべき事である。水道を全く欠き珊瑚小島は2個を有す。珊瑚小島の外側礁原の状態はヤルートの場合と大差無く、ただ蕈状岩が更に多くかつ巨大であり、その上には樹木の生長をさえ見ている（第91図）。高さは大体2m前後、礁湖岸に於いては平坦なる現生珊瑚の発育を

第91図　(Fig. 91)

ナムリック環礁の礁原の断面

Profile of reef-flat of Namorik Atoll



a. Coral sand, gravel　b. Limestone bench
c. Mushroom rock　d. Living coral　L. High tide level

見る。

f クッルーの環礁（附図第13）

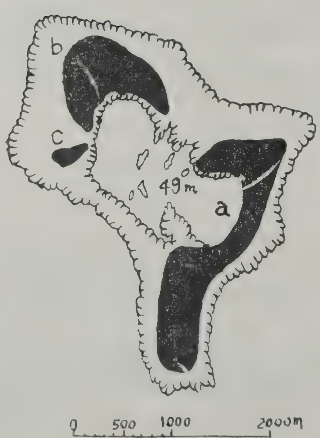
三角形の輪廓を有する環礁である。この環礁は特異の性格を有し、外礁は北西辺と南辺では低潮時に干出するが、東辺は南部の一部のみ干出し、大部分は常に海面下10—20mの處にある。即ち東辺は沈沒礁の形をとる。又外礁はその北東端に於いて二つに分れ、その一は前記沈沒礁に連なり、他の一は礁湖内に半島狀に突出し、その長さは 6.5km に及ぶ。しかしてこの部に3個の珊瑚小島を見る。注意すべきことは礁湖の最深線は礁半島の外側に接して南西に走り、本礁湖の最深点（水深84m）を通り、南辺のドーニゴッピン水道に達していることである。尙この最深線の南と北への延長上では外洋斜面がへこみ、淺い谷狀を呈している。これらの異狀形態は礁半島の外側からドーニゴッピン水道に達する断層線を想定し、しかもこの線の西の地塊は北上り、東の地塊は北下りの傾動を為したと見る時に容易に解釈できる。礁湖底は前記最深線に次いでは、その外縁部特に東縁に於いて深く、外礁の礁湖側の斜面は常に急傾斜を示し、しばしば垂直崖を為してこの礁湖底に臨んでいる。離礁は或は干潮時に干出し、或は常に水面下10m前後にある。その多くは柱狀礁の形をとっている。外洋斜面を見るに一般に 200—300m、時に 400m までは急崖を為し、それ以下は深くなるに從って傾斜を減じている。しかし局部的に階段狀の地形の見られることは注意すべきことである。

g 環礁の性質

礁　湖　　環礁の礁湖の深さは珊瑚礁の成因に關連し興味ある問題であり、筆者もかつて矢部博士[(73)]と共に観察結果を発表したことがあったがその当時は材料は不十分であった。しかし今日に於いては南洋群島全環礁64個の資料は殆んど集め得たのでこの問題に關し、再検討する時期に立到っているのである。その詳細は後日に譲り、ここにはその結果の大要を記するに留める。

（1） 縦軸に礁湖の深さ、横軸に礁環の長さをとりグラフを作製し、深度曲線を描きこれを通して礁湖の深さと礁環の長さとの相関關係を見た（図表第1）。即ちこれによって深さで 60m、周の長さで 50km 迄は礁環の周の増大と共に礁湖の深度の増大する傾向がうかがわれる。しかしこの限度をすぎれ

第92図　(Fig. 92)
ピンゲラップ環礁
Pingelap Atoll

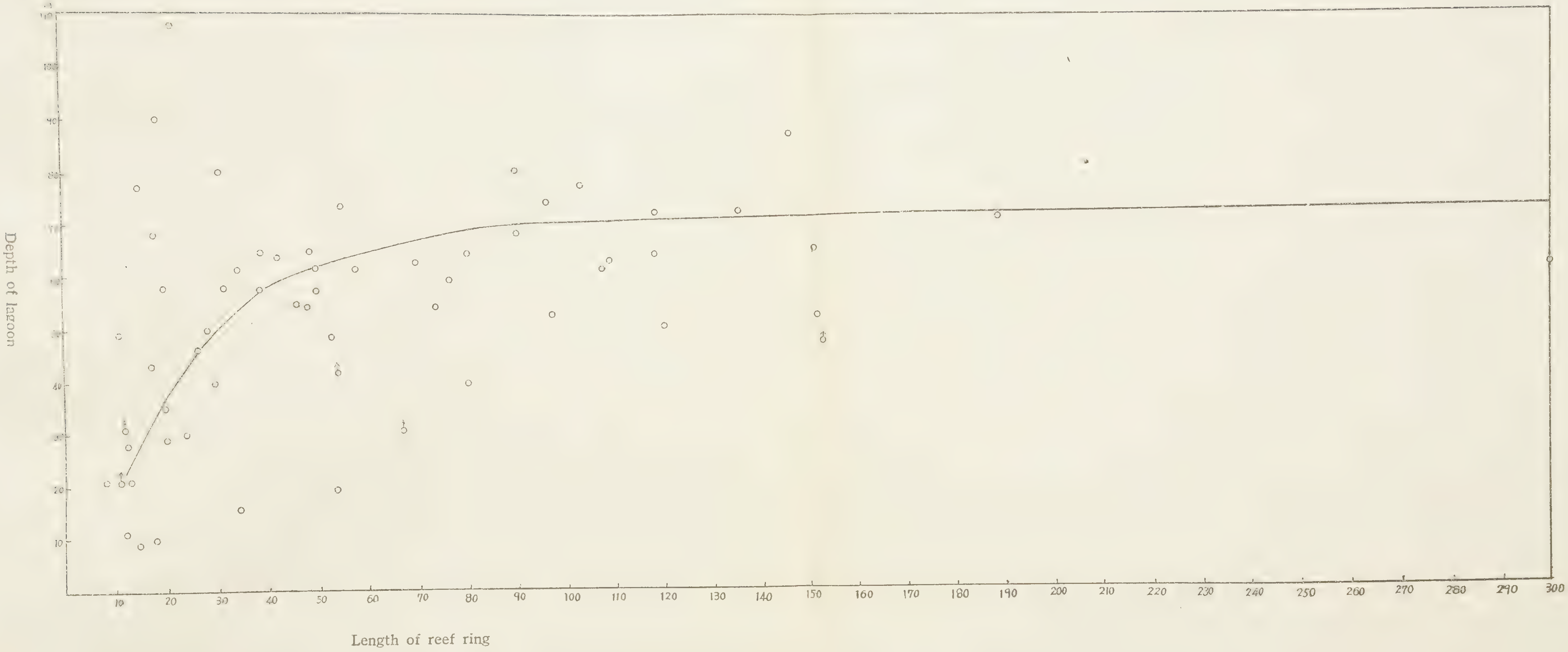


a. Pingelap Island
b. Tugulu I.　　c. Takai I.

図表第 1　Graph 1

礁湖の深さと礁環の長さとの関係

Relation of depth of lagoon and length of reef ring



ば両者の間の相関関係は薄弱となり、周の大小に拘らず礁湖は一定の深度70mを保持している。

（2） 大多数の礁湖は深度曲線に接しているが少数のものはこの曲線より相当に離れているのである。今曲線が示す深度より20m以上深いもの、即ち周の長さの割に礁湖の著しく深いものを列擧すれば次のようなものである。ヌゴール・ナムリック・ナモールック・グリーニッチ・ラエ・ピンゲラップ（第92図）・パキン・アウル・オロールの9環礁である。これらの大部分が東カロリン群島に所属していることは注意すべきことである。次に曲線が示す深度より20m以上浅いもの即ち周の長さに比し礁湖の著しく浅いものを列擧すれば次のようなものである。ピカール・ポカアック・アイリギンアエ・ウジャエ・ウルシ・ヤルート・ナモ・ウォット・ガジャングル・ガルアングルの10環礁である。これらがパラオ群島・中央群島・ラリック群島に主として分布しているのは注意すべきことである。

（3） ヌゴール・ナムリックの如きは礁湖の周長25kmにも達しない小環礁であるに拘らず全環礁中の最大の深度を示している。尙礁湖の深さは最浅9m、最深108mである故両極値の差は100mであり、90mを越える深度の環礁を3個（ヌゴール・ナムリック・オロール）数えることができる。

（4） 礁湖は各群島に於て独特の深度をとっていることは上記の事実から察知されることであるが今その平均深度を求めれば次のようなものである。パラオ群島 27m、西カロリン群島41m、東カロリン群島63m、ラリック群島64m、ラタック群島59m、中央群島 32m。これを見るに東カロリンとラリックに最深部あり、これより遠去かるに從って礁湖の淺くなっているのが窺われる。

（5） Dr. R. A. Daly は全世界の環礁の礁湖が 30—50尋 (54—90m) を有することに着目し、極地の氷塊より算定して氷期に於ける珊瑚海の海水面の低下は最大の時に於て 60—70m（現在の海水面を基準として）であったと称しているが南洋群島に於ては礁湖の大部分はこれと全く一致していることは興味のあることである。

礁原の幅　環礁の礁原の幅については南洋群島のみならず全世界の環礁について図上観察を為す處あり、その結果を発表した次第[39]であるがその大要について述べる。

（1） 大体に於て全環礁を通じて礁原の幅は大差無く 500m前後の平均値を有する。又一般傾向として礁湖の深度の小なる環礁に於ては礁原の幅は大であり、その反対に深度の大なる環礁に於ては幅は小である。しかし必ずしもすべてのものがこの原則に從うものでない。

（2） 礁原の幅を決定する因子の一が地盤運動にあることは堡礁の場合と同様に想像に難く無く又他の因子が海流・風向・風力にあることは、海流の流れて来る方向と風上とに於て礁原の発達が良好であり、海流の流れ去る方向と風下に於て発達不良であることから推知される。[37]

（3） 南洋群島の環礁に就て見るもほぼ同様であり、各群島を通じて一・二の例外を除いては礁原の幅はほぼ一様であり、大体500—600mである。更に少しく各群島を観察するにそこには

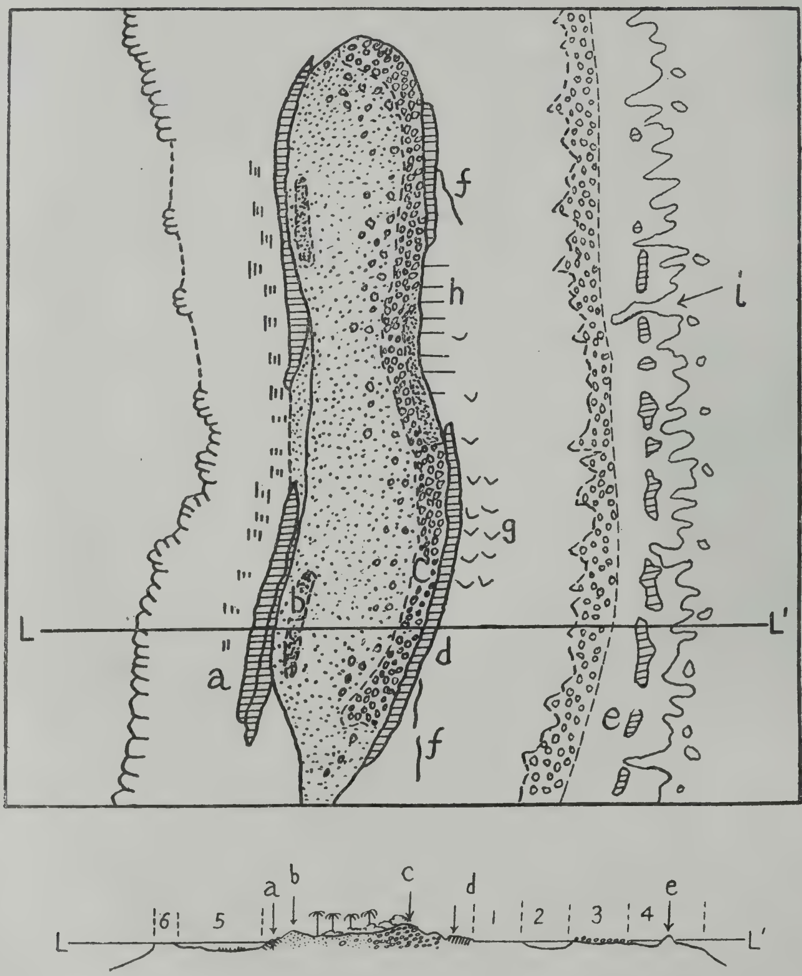
多少の相異は発見される。即ちパラオ群島にて 600m、カロリン群島にて東西共に 500m、マーシャル群島にては同様ラリック・ラタック共に 500m、中央群島にて 530m である。

(4) 環礁の外礁を堡礁の外礁と比較するに環礁の方は一般に位置・方向に変化は少なく、かつ概して幅も狭い。

第 93 図　　(Fig. 93)

洲島の平面形と断面形

Ideal plan and section of Cay



1. 1～Zone, Outer reef
2. 2～Zone, Outer reef
3. 3～Zone, Outer reef
4. 4～Zone, Outer reef
5. Inner zone, Inner reef
6. Outer zone, Inner reef

a. Beach sandstone
b. Sand dune
c. Boulder ridge
d. Beach conglomerate
e. Nullipore ridge
f. Fracture

g. Pot-hole
h. Small furrow
i. Marginal furrow

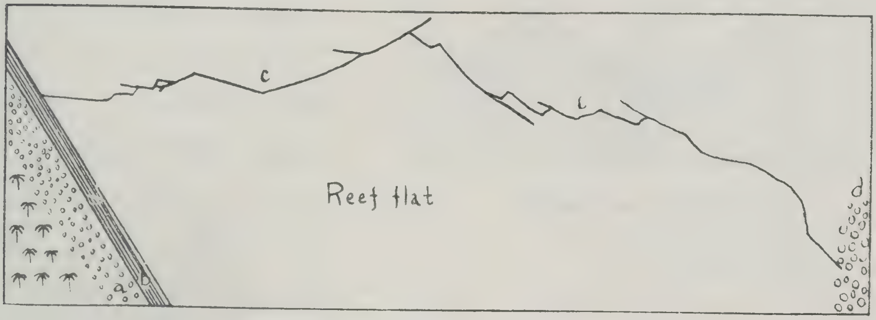
L～L′ Low tide level

礁原の形態

大観する時は單純であり各環礁を通じて大同小異であるが之を精細に見る時は複雑なる形態を有し、環礁により又同一環礁でもその場處により異なる形態を示すものである事は上述数環礁の事例によっても明な處である。今最も普通

なる一般形態について述べる(第93図)。礁原は珊瑚小島の内外に於てその形態を異にしている。一般に外側礁原は著しく平坦かつ浅く低潮時に干出する。原則として4帯に区別される　海岸に近い第1帯は無生物、無被覆帯で舗道狀である。此表面上には處によっては汀線に直角に互に並行に走る小水溝と淺い甌穴とがある。又海岸に直交、並行又は僅かに斜交する裂罅線を見る事ができる(第94図)。裂罅面は垂直である場合もあるが海方に向って傾斜しているものが寧ろ多い。尙直交するものは並行又は斜交するものに比しその数が遙かに少い。又この帯には

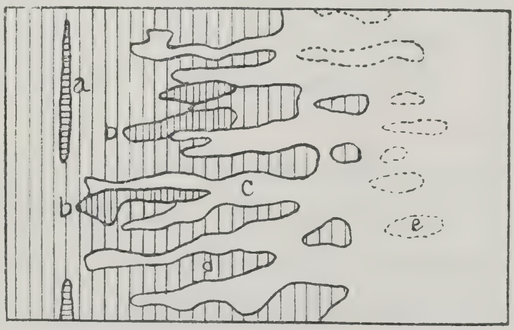
第94図　(Fig. 94)
エタール環礁、エタール島の礁原上の割目
Fracture on reef-flat of Etal Island, Etal Atoll



a. Gravel beach　b. Recent limestone　c. Fractures about 100m long
d. Outer zone of reef ; coral and Lithothamnion living

Heliopora・*Porites*・*Acropora* の如き珊瑚の切頭面を見る事ができる。更に石灰岩のベンチ・蕈狀岩の数多く見るのはこの帯である。第2帯はやや低く時に砂帯をなし貧弱ではあるが珊瑚の発育が見られる。第3帯は漂礫帯であり、珊瑚塊の堆積している處である　やや高く低潮時に最も早く干出する。

第95図A　(Fig. 95A)
アルノ環礁ピカレージ島の礁緣の平面形
Plan of reef margin of Pikaareji Island, Arno Atoll



a. Nullipore ridge
b. Lithothamnion rise exposed
c. Marginal furrow　d. Marginal spur
e. Submerged marginal spur

第1帯より第3帯までは非常に平坦でかつ水平であるが第4帯に至れば海方に 5° 前後の傾斜をなし表面は石灰藻と珊瑚とにより被覆されている。尙ここに於いては石灰藻は珊瑚に比し発育旺盛である。この帯の末端に高さ50cm 前後の石灰藻嶺を見る場合がある。特にマーシャル方面に多く觀察される（第95図A・B）。無数の緣溝は第4帯を橫断し稀にはこの

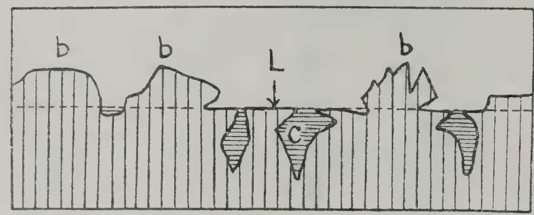
溝頭が第3帯をこえ、第2帯にまで達していることがある。

内側礁原は一般に外側礁原に比し不鮮明で低く、かつ礁湖の方に向って僅かに傾斜を示している。鋪道状を呈すること無く、多くの場合には砂に被覆されている。内外2帯に分れ、内帯はエンハルス帯とハリメダ帯、外帯は珊瑚帯を為すを通則とする。例外的には外帯外側部に漂礫帯あり、内帯に蕈状岩を見る。珊瑚は外側礁原の縁溝壁、内側礁原の外帯に発育し外洋斜面と礁湖斜面に於て最も旺盛なる発育を為す。

第95図B　(Fig. 95 B)

アルノ環礁ピカレージ島の礁縁の断面

Profile of reef margin of Pikaareji Island, Arno Atoll



b. Lithothamnion rise exposed
c. Marginal furrow
L. Low tide level

珊瑚小島（洲島）　礁原上には1個以上の珊瑚小島を有し、多くの環礁にあっては多数存在し、クエジェリンにて84個、ヤルートにて83個の多きに達している。原則として礁環の大なるものは珊瑚小島が多くその関係は図表第2に於て一目瞭然たる如く、両者の間に正比例の関係が存在する。しかしながらこの頻度曲線より遠ざかるものが可成多く存在し、これらは特に注意を必要とするものである。即ち礁環の長さの割に洲島の多いのはフルック（第153図B）・スゴール・グリーニッチ（第151図）・アイルック・アウル・ウォッチェ・ヤルートの7環礁であり、フルックを除けば総てが東カロリン群島以東の群島に所属し、その反対に礁環の長さの割に洲島の少ないのはヘレン・クッルー・オロール・オロルックの4環礁であり、オロルックを除く他の礁が総て西カロリン群島以西の群島に所属していることは注意すべき事実である。

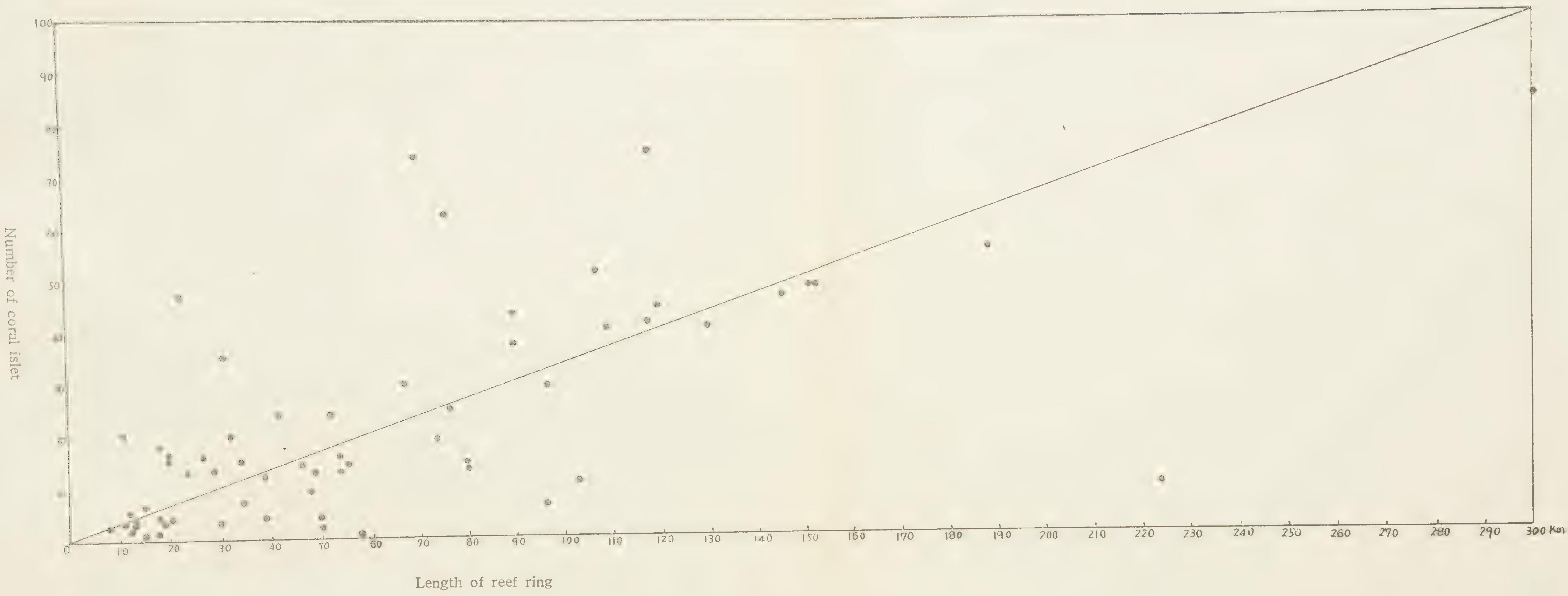
珊瑚小島の礁環上の配置狀態はかつてマーシャル群島の珊瑚小島について考察したことのある(37)ことではあるが大体一定し、東側と南側に最も多く、北側特に西側に於て最も少ない。しかし赤道反流地帯に於ては反対の配置をとることが多い。この事実は洲島の形成・配置は潮流・風向等海洋学的・氣象学的條件に支配されることの多いことを示すものである。

珊瑚小島の密度を各群島について見るに環礁1個あたりの平均珊瑚小島数はパラオ群島で2個弱、西カロリンにて8個、東カロリンにて14個、ラリックにて35個、ラタックにて38個、中央群島にて26個となる。マーシャル群島にて最多を示し、それより離れるに従ってその数を減じている。小環礁の多い西カロリンに少ないのは理の当然であるが東カロリンが大環礁の多い点に於てマーシャル群島と大差無いがそれにも拘らず珊瑚小島の数が著しく少ないのは他に原因する事を示すものである。尚マーシャル地方と東カロリン地方とでは氣象・海象上の相異はあ

図表第 2　Graph 2

礁環の長さと珊瑚小島の数との関係

Relation of length of reef ring and number of coral islet



るであろうが筆者はその資料を持たない。又両群島に於て地盤運動も異にする事であろう。

珊瑚小島の地質　　珊瑚小島の外側には珊瑚の礫塊より成る漂礫嶺（礫堤）あり、防堤状を為し小島中の最高地点を為す。礁湖側に砂丘あり、有孔虫・ハリメダ・貝殻・珊瑚等の砂から主として構成されている。礫堤ほどでも無いが又高く、従って両高地間に挟まれた内陸部は最も低く、かつ最も平坦である。しかして内岸に近く砂、外岸に近く礫から構成されているのを通則とする。内陸部は時に沼沢地を為し又水を湛えて湖水を為す場合もある。

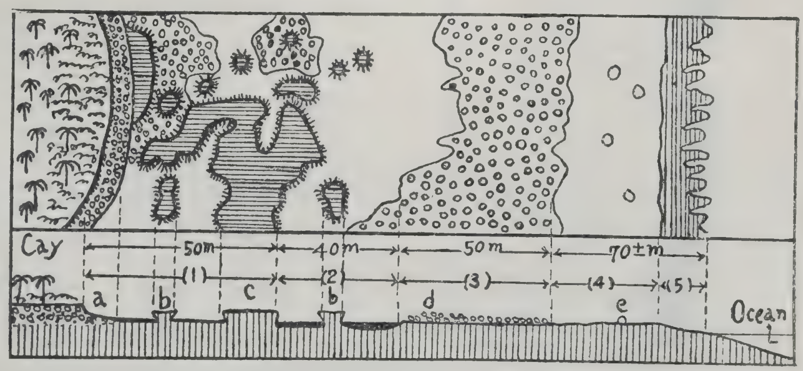
珊瑚小島の外洋岸の汀線上には常に汀礫岩の発達あり、局部的には汀砂岩の発達を見る。汀礫岩は又砂岩を挟在する場合が多い。礁湖岸の汀線上には汀砂岩の連続的発達を見るのが常である。これら汀線上の礫岩・砂岩を構成するものは前者にあっては珊瑚及び石灰藻を主とし、後者にあっては有孔虫砂を主とし、これに珊瑚・ハリメダ・貝殻の破片を副とする。尚汀礫岩・汀砂岩は現成石灰岩として総括したものであり、いずれも海方に向って5－10° の傾斜を示し、層理鮮明である。特に砂岩に於て著しい。例外的ではあるが陸方に向って傾斜を示す現成石灰岩の存在は注意すべきことである。尚現成石灰岩については更に章を改めて論ずることにする。

蕈状岩　　蕈状岩は1個の珊瑚株から成る場合と多くの珊瑚の集合たる珊瑚石灰岩から成る場合とがある。前者は *Porites* 最も多く *Favites*・*Heliopora* これにつぎ他の珊瑚は極めて少ない。蕈状岩の最も多く分布しているのは外側礁原の内帯（第1・2帯）であり、外帯にも稀に存在するが波浪のため破壊されて、礁原上に打上げられた礁縁の破片又は珊瑚塊と遠望する時に混同される場合が多い。打ちあげられた礁縁の破片又は珊瑚塊はいわゆるネグロヘッド (Negro head) と称せられるものであり、前者にはその表面

第96図　(Fig. 96)

エタール環礁チェーン島の礁原の平面形と断面

Profile and plan of reef-flat of Chain I, Etal Atoll



(1) Inner zone (2) Middle zone—Water (3) Outer zone—Boulder covered
(4) Outer zone—Pavement like (5) Outer zone—Nullipore zone

a. Gravel beach　b. Mushroom rock　c. Limestone bench
d Boulder　e. Coral stock　L. Low tide level

に珊瑚の附着あり、かつ稜角ある輪廓を示し、蕈状岩に於ける如き根が無い。従って接近して観察する時は両者を混同することは無い。しかし蕈状岩の倒壊したものとネグロヘッドの相当波蝕を受けたものとの区別は中々困難である。

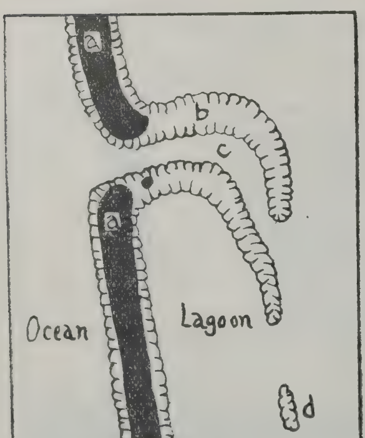
蕈状岩が海蝕台を構成している石灰岩に接近し、しかもこれと等高である場合（第96図）のあることはこの石灰岩より海蝕により分離されたものであることを示すものである。珊瑚小島の内側礁原上にも少ない例ではあるが蕈状岩が存在する。ヤルート・サトウワン環礁にこの好例あり（第87図)、又極めて少ない例ではあるが珊瑚小島の内陸部に於ても見ることができる。アント環礁にこの好例がある。これらの蕈状岩はその表面は何れも石灰岩特有の毬栗状の形態を有し、又環礁を異にしてもその高さをほぼ一定（大体2m前後）している。

水　道　　環礁には原則として1個以上の水道を有す。しかし全く欠くものも存在する。エタール・ミント・パキン・ナムリック・ヨルピック・モキール・ピンゲラップ（第92図）はこの例である。しかしこれらに於ても過去に水道のあったことを示す様な地形が尚残存する。即ち巨大なる縁溝の形に於て、又は礁原がこの部に於て多少低くなっているとかの形に於て存在する。水道がただ1個の場合には下げ潮(落潮)の時には全礁湖の水がこの1個の排水口より出る故、水道は急灘となり、舟艇の航行は全く不可能となるのが常である。ピカール・ポカアック・エポンに於いて筆者の数回経験した處である。

水道の数は大体礁環の長さに比例すること、珊瑚小島の数と同様である(図表第3)。水道の礁環上に於ける配置狀態は珊瑚小島の配置狀態と全く反対で北側、特に西側に於いて最も多い。水道の性質は堡礁の場合と大同小異であり礁湖底より淺いのを原則とする（第97図B)。ただ外礁が水道の處に於いて内側に屈曲し水道の長さを著しく増大せしめている場合の多いことを異にする（第97図A）。アント・エポン・ヤルートにこの好例を見る。

水道の数の多いのはクエジェリンの28、メジュロの25、唯1個のものはピカール・ポカアック・ウートロック・タケ・エポン・ヘレン・ガルアングル・ガジャングルの8環礁である。

第97図A　(Fig. 97A)
アント環礁の水道
Passage of Ant Atoll



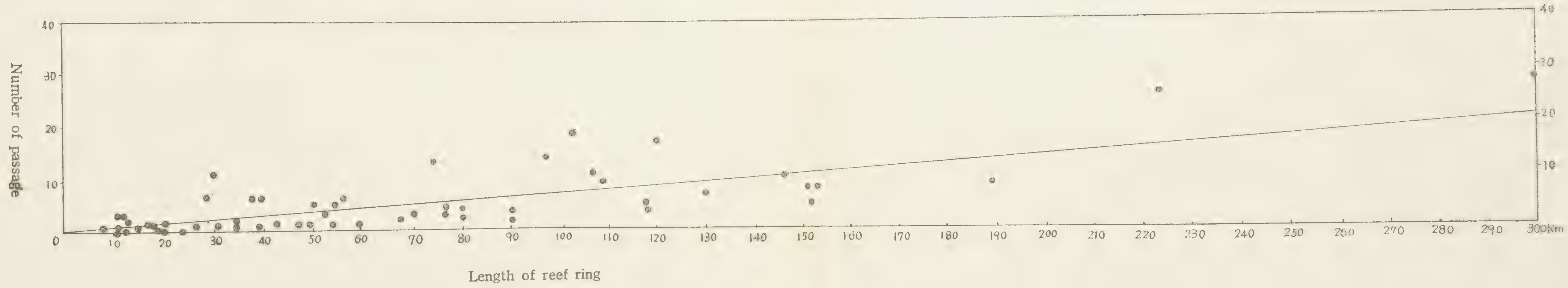
a.　Coral islet
b.　Outer reef ; curving inner side
c.　Passage
d.　Isolated reef

礁環の輪廓　　礁環の外周距離は最大クエジェリンの 300km、最小はトアスの 8kmである。礁環の平面形は多種多様であり、円に近い物は寧ろ少数である。一般原則として（1）礁環の長軸の方向と海

図表第 3　Graph 3

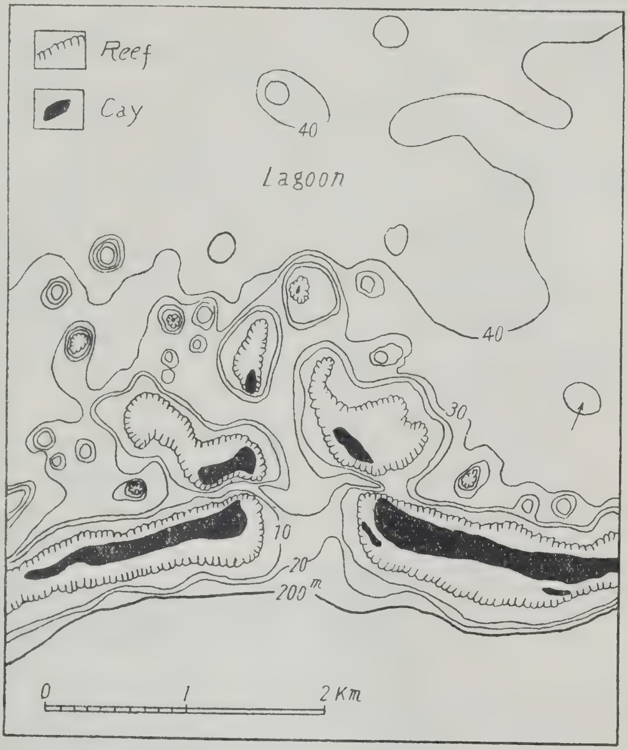
礁環の長さと水道の数との関係

Relation of length of reef ring and number of passage



嶺の方向とが一致する物（ソロール・ヤルート・マロエラップ・サトウワン・アイルックはこの例）の多い事。（2） 海台上のものは円形に近い物（ヌゴール・グリーニッチはこの例）がある事。（3） 構造線に一致する物（オロールの東西・北東—南西・北西—南東の3構造線の会合点にあり、三角形の輪廓をとる）がある事の3を擧げる事ができる。之等は環礁の輪廓を決定する因子に關し暗示を与えるものである。

第97図B (Fig. 97B)
クエジェリン環礁ネル水道
Nell Passage, Kwajalein Atoll



外礁に接しその内側に、等距離に配列する多数の離礁あり、これらが不完全ではあるが第2の礁環を形成している場合がある。この種二重礁環の例はヌゴールに鮮明であり、アント・ポカアックにもこの不完全のを見出すことができる。このことについては再び後章で論述する。又二つの環礁が密着したと思われる双子環礁とも称すべき形のものもある（附図第14）。

礁湖の形態 礁湖の平面形は礁環の平面形と大体に於て相似形である筈である。礁湖はその広さに対し、深さが著しく小であり、しかも深さはほぼ一様である故湖底の形態は大觀して皿状であると言い得る。しかし更に詳しく湖盆を觀察するに深さは中央部に於て必ずしも最深を示さず多くの場合最深箇所は偏在し、特に珊瑚小島の多い方に偏在しているのがうかがわれる、極めて少数の例ではあるが最深線が一線上に配列して湖盆を横断している場合あり、陸上なら断層谷を想定するような形態である（クッルーの例）。又離礁に接近して最深点がある場合が可成多い。恐らく離礁の處で渦流を生じその結果湖底がえぐられたものであろう。

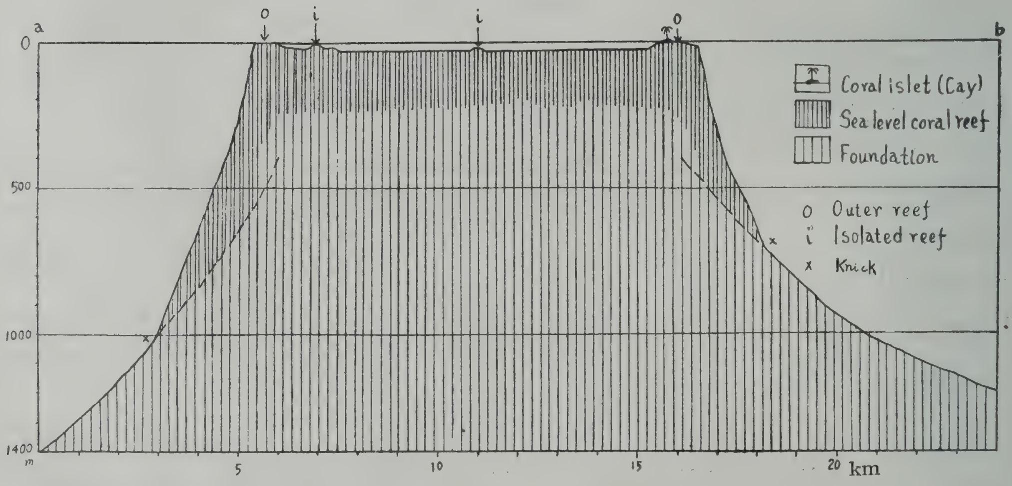
礁湖壁を見るに礁縁直下は一般に急傾斜であり、垂直に近いものを普通とするが砂浜の発達の良好なる珊瑚小島に接する處では緩傾斜の場合が多く、砂浜の斜面がその儘湖盆底に移化している處がある。この場合珊瑚は礁を形成せず斜面の砂上に僅かにその姿を留めるに過ぎない。

離　礁　　堡礁の場合と同様に礁湖底より柱状に或は円丘状に立っているが更にその形態が堡礁のものより鮮明である。しかしてベンチ状のものの少ないのがやや趣を異にする。離礁上には外礁上に於ける場合と異なりその礁原上に珊瑚小島を見る場合は極めて少ない。しかし低潮時に干出する珊瑚砂礫の堆積と葷状岩とをこの上に見ることができる。ただ水道の内側、外礁に接しては珊瑚小島が存在し椰子の繁茂を見るのである（第97図B)。その性質は外礁上の珊瑚小島の性質と何等変る處が無い。

離礁の配布状態は前記二重礁環の例を除いては全く不規則であり、この間に系統を見出すことができない。ただ水道近くと隅角に密集しているのが目立つ。又ヌゴール・グリーニッチの如く中央部に大離礁の存在するのはむしろ例外的である。

外洋斜面の形態　　珊瑚礁及び基盤を含む地塊を太平洋底より見る時は一個の切頭高山であり、その高さは 2,000—4,000m に達するものである。礁湖の存在は言わずもがな、珊瑚礁それ自身も度外視して差支えないほど小なるものであろう。この山体の形態は測点少なく明瞭を欠くが今日まで集め得た資料よりして山体の側線はコニーデ火山の側線と類似し二次曲線で示され、深度の増大と共に傾斜の減小を示しているものであることを知る。

第 98 図　　(Fig. 98)
ウルシ環礁の東西断面
EW-Section of Ulithi Atoll



環礁の中には側線は單一曲線でなく、交叉する二つの曲線で示さるべきもの即ち中間に傾斜の急変点即ち遷移点（Knick）を見るものもあるようである（附図第15）（第98図）。礁縁直下の斜面にあっては傾斜は常に急、垂直に近い。礁環が多角形である場合にはその隅角の處に於て斜面の傾斜は比較的緩、辺の處で急であるのを原則とする。又辺の處に於ても傾斜の非対称を見る場合がある。ウルシはこの例で南辺は急、北辺は緩である。尚ウルシに於いては礁縁直

下の斜面が階段状（海底段丘）を為し、クッルー及びメレヨンに於いては500—1,000m前後の處に階段狀の地形のあるのが観察される（附図第13・14）。

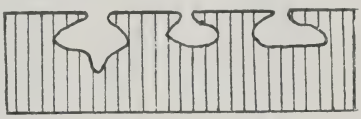
外礁外帶上の縁溝は礁縁より急傾斜を示して外洋斜面に達し更に下方に向っているがその下方限界が未だ判然しない。しかし飛行機上より透視し得る範囲には存在する。唯この急斜面地が現生珊瑚の最も発育良好な区域であることだけは明瞭である。

7. 準卓礁（Almost table reef）

a 沖ノ鳥島の準卓礁（附図第16）

平面形は卵形で長徑は8 km である。礁湖は著しく淺く平均4 m、最深 5.5m、かつ礁湖中にはデスク狀の礁多くこれが外礁と連結して礁湖の区域を縮少せしめている。從って外礁の外縁は鮮明であるが内縁が、複雜不鮮明である。礁原は平坦であるがその内側部は十分舗道狀にまで固結せず無数の隙間あり、この隙間の下には空洞あり、その壁に於て珊瑚の生長が旺盛を極め魚族のかくれ場となっている（第99図）。

第99図 (Fig. 99)
沖ノ鳥島の礁原の断面
Profile of reef-flat at Parece Vela



西端礁原上には1個の蕈狀岩あり、高さ 2.8m、柱狀部は有孔虫石灰岩、頭部は珊瑚石灰岩から成っている。筆者の調査した時にはこの蕈狀岩の外にもう1個の大露岩（これもかつては蕈狀岩であったが波浪のため倒壊したことが明瞭によまれる）が存在していたのであるが、その後暴風波のため流失したときく。水道は無く、ただ巨大なる縁溝の延長線上に於て礁原がやや低くなっており、これにより代表され、ただ1個東辺に存在する。

b ロシャップの準卓礁（第100図）

東西に長いほぼレンズ形の礁であり、長徑5,600m、短徑 1,300m、礁周 12.8km である。海図上に於ては一個の卓礁の如く見えるが事実は然らず中央部に礁湖あり、大体 3 m前後の深さを有しているもののようである。しかし南西隅の一部だけは深く大体20m前後と推定される。この礁原上には3個の珊瑚小島あり、その内の西端の1個は季節により2個に分離する。飛行機より瞰下する處では外洋斜面は南北両側に於て著しい非対称を示し、南側では急で、懸崖をなしているに対し北側は緩である。

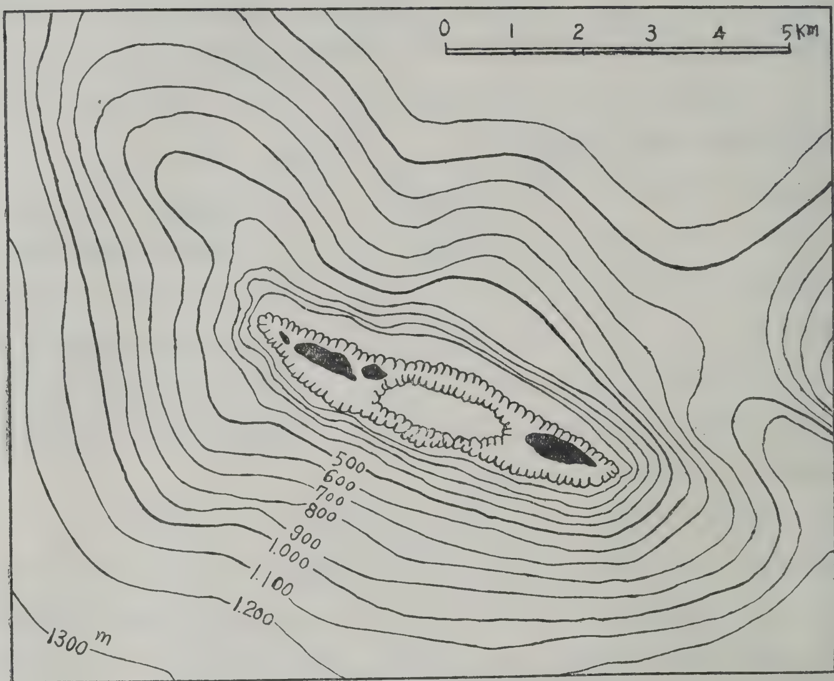
c ナーリキリックの準卓礁

マーシャル群島の最南端を為す珊瑚礁であり、大体南北の方向に長い。長さ7.5km、幅 1.5km、礁周 16.5km である。礁湖は非常に淺く干潮時にその北半部は殆んど干出するような狀態である。ただ南半部にはやや深い處あり、大体 3—4m の深さを有している。底は砂で埋まり殆んど無生物地帶である。礁原上にはナーリキリック・アイリクヨ以下9個の珊瑚小島を有している。尚、この外に未だ植物の生育を見ない小砂島9個を数えることができる。礁原は舗道狀、内帶

第 100 図　(Fig. 100)

ロシャップ島、準卓礁の例

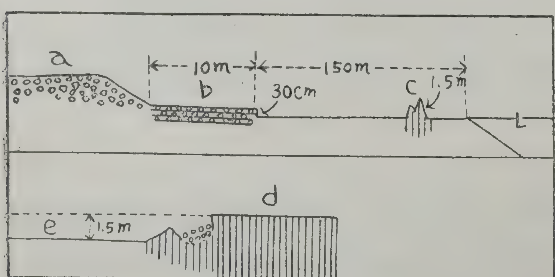
Losiep Island, example of almost table reef



第 101 図　(Fig. 101)

ナーリキリック準卓礁の礁原の断面

Profiles of reef-flat of Knox Almost Table Reef



a. Coral islet (Cay)　b. Conglomerate bench
c. Exposed rock (Coral stock)　d. Phosphate bench
e. Reef-flat　L. Low tide level

には砂礫の被覆あり、又低い階段状の地形が見られる（第101図)。外帯には稀に干出岩を見る。外洋岸には現成石灰岩の発達が良好である。一部にこの石灰岩が陸方に向って傾斜を示している。

d　準卓礁の性質

環礁に比し一般に小さく最大のウェィクに於いて礁周 23km にすぎない。礁湖は存在するも非常に浅く局部的には 20m に達する処もあるようであるが大体 5m 以下である。低潮時には礁湖底の大半

は干出し一大砂原と化すのが普通である。珊瑚小島は多数存在する。ナーリキリックの9個を最多とする。その性質は環礁の珊瑚小島と大同小異である。礁原の形態は環礁の外礁の性質に酷似する。

8. 卓 礁 (Table reef)

a メリルの卓礁(第102図)

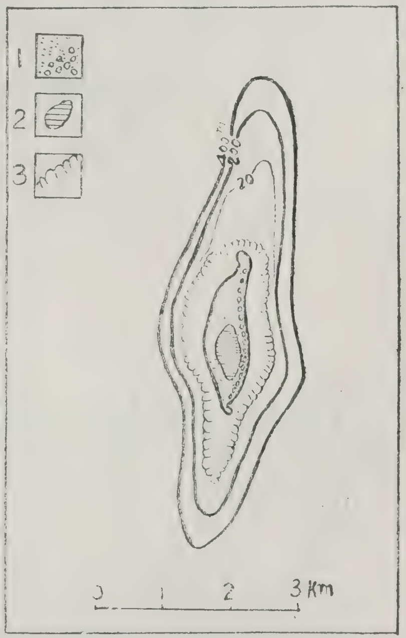
南北に長い楕円形の卓礁であり、長径3,600m、短径1,400m、周囲8,200m、この上に1個の珊瑚小島あり、メリル島と称す。その輪廓は礁と相似形である。中央部は低く沼沢地をなし、東岸は礫浜、西岸は砂浜を為している。西部の一部には円丘状の丘陵あり砂礫より成りその高さは礁原上8mである。砂丘であると思われる。砂浜下に現成石灰岩の発達あり、汀線に斜交する様な走向をとる。傾斜は海方に10°を示す。

礁原の状態を精細に観察する時大体3帯に区別できる。第1帯は礁原の大部分を占めるものであり、汀線より殆んど水平に拡がり、干潮時に殆んど干出して一部は舗道状であり、一部は珊瑚礫の被覆する處である。又處々に浅い礁池あり、ここに僅かに現生珊瑚を見る。第2帯は第1帯の外方にあり、その幅5—10m、平均5°の傾斜を以って海方に傾いている。塊状珊瑚が處々に生育し、干潮時に上げ波がこの上を被う。第3帯は礁の最外帯であり、傾斜は平均20°、干出することは絶体に無く、珊瑚の最もよく発育する處であり、その外縁には縁溝の発達がある。外洋斜面は南北両斜面に緩であり、東西両斜面に急で海岸より600m位までは40—50°の傾斜である。

第102図 (Fig. 102)

メリル島、卓礁の例

Merir Island, a table reef



1. Sand and gravel
2. Swamp 3. Reef

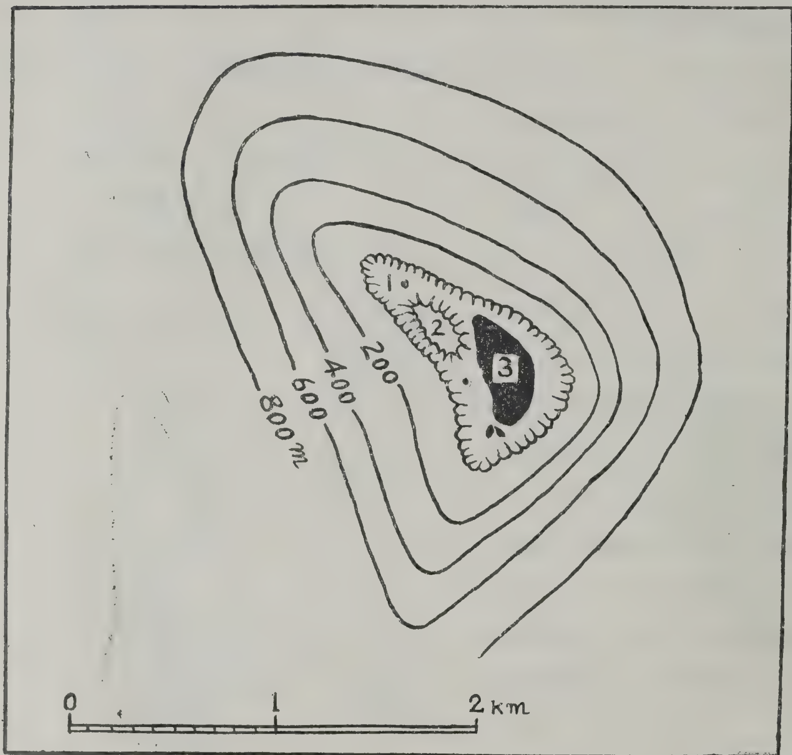
b グリメスの卓礁(第103図)

大体輪廓は半円形を呈し、凸面を東に向けている。弦の長さ1,100m、この上に唯1個の洲島があり、グリメス島と称す。この輪廓は礁と大同小異である。本島の北半は主として砂、南半は主として礫から構成されている。現成石灰岩の発達あり、干潮時に現出し岩石台を為している。特に西側に於て著しく走向北西、傾斜南西に5—10°である。南岸に於ては海岸線より30

第 103 図　(Fig. 103)

グリメス卓礁

Gaferut (Grimes) Table Reef



1. Rock (Height 2.7m)　2. Relic of lagoon　3. Coral islet (Cay)

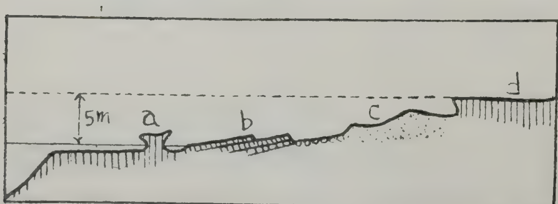
mの間に4条の現成石灰岩の嶺あり内側のものは有孔虫砂岩、外側のものは珊瑚礫岩である。走向東西、傾斜5°である。島の中央は台地狀を為し、その高さは礁原上 5m であり、表面は平坦で珊瑚石灰岩の構成する處となっている(第104図)。

第 104 図　(Fig. 104)

グリメス卓礁グリメス島東岸の断面

Profile of east coast of Gaferut Island

Gaferut Table Reef



a. Exposed rock (2.5m high)　b. Recent limestone
c. Beach sand and gravel　d. Phosphate

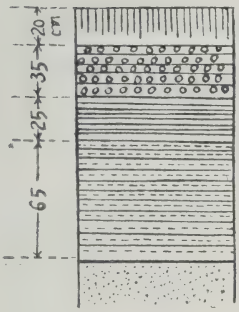
尙この石灰岩は燐鑛化し、この下には褐色粘土を挾んで有孔虫砂岩を見る。共に水平に成層し、珊瑚・有孔虫の砂礫層上に載っている(第105図)。北西側の礁原は著しく広く、その內帯は淺池(水深0.5m)を為し、干潮時にも干出することが無い。これはかつての礁湖の名殘りと思われる。海藻生育す。又內帯上に蕈狀岩あり、高さ2.5—3mを示す。

第 105 図　(Fig. 105)

グリメス島燐鉱試掘坑に於ける柱状断面図

Columnar section of beds exposed in pit on Gaferut Island

Gaferut Table Reef



a. Surface soil-Blackish brown

b. Coral limestone-Phosphatic and include abundant *Tridacnagigas*

c. Brown clay

d. Foraminifera limestone-Somewhat phosphatic

e. Foraminifera and coral sand

c　メジチの卓礁

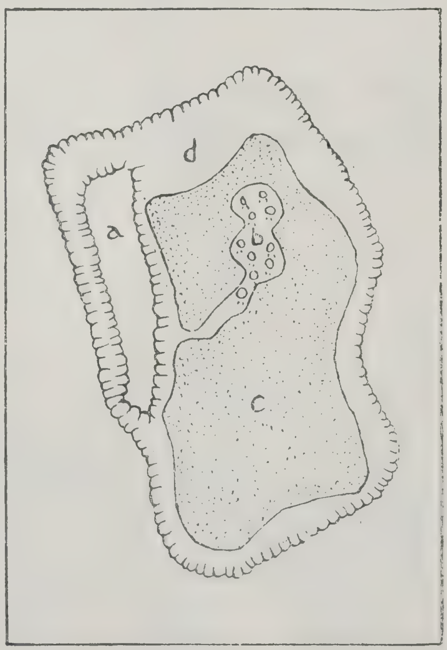
（第106図）

南北に長い卓礁であり、長徑3,800m、短徑2,400mである。1個の洲島ありメジチ島と称す。礁原は東岸に狭く西岸に広い。西岸には礁原中に礁湖の名残りを思わしめる様な凹地あり、水深1—2m、干潮時にも干出せず。珊瑚小島中に西方より入り込む湾入あり、又北端に近く紅樹により囲まれた湖沼が存在する。高潮時にはこの湾入と湖沼とが連続し、細長い一大湾入と化するのである。湖沼は相当に深いものの如く島民の言によれば4mに達するとのことである。珊瑚小島の北端と南端に近く燐礦存在す。外洋斜面を見るに東西に於いて著しい非対称を示し、東岸にては離岸距離400mまでは30°、西岸にあっては600m位まで65°である。

第 106 図　(Fig. 106)

メジチ卓礁の見取図

Sketch map of Mejit Table Reef



a. Remnant of lagoon

b. Embayment, remnant of lagoon, depth 4m; rimmed by mangrove

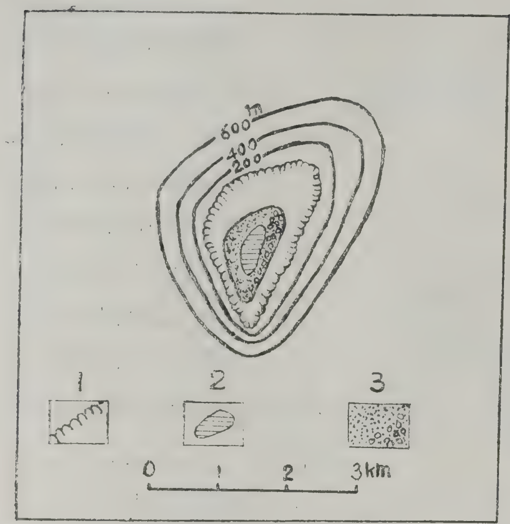
c. Coral islet (Cay)　d. Reef-flat

d　エリップの卓礁

鼓状の輪廓を有し、長さ2,100m、幅1,300m、周5,000mである。この上に1個の珊瑚小島（エリップ島と称す）がある。島の周辺は高く珊瑚礫の構成する處、中央部は低く、その中心より東に偏在して湖沼がある。その深さは測定し得なかったが大体5m前後あるものの如くである。湖の周囲は厚く紅樹により保護されてある。現成石灰岩は東半部に主として発達し、水平で階段狀を為す。高さ礁原上1m、礁原は舗道狀、露岩を欠く。

e　トコベイの卓礁（第107・108図）

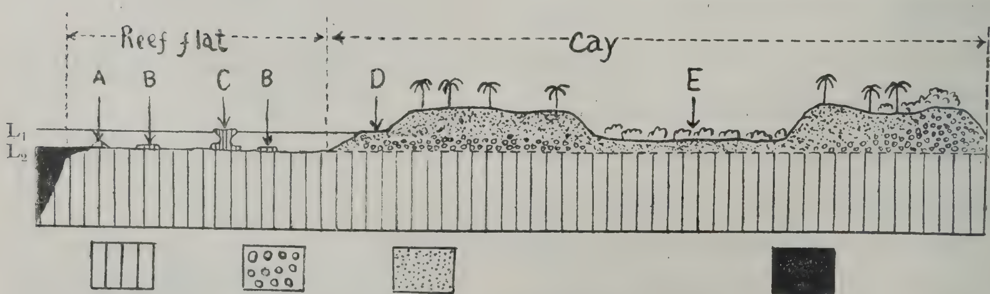
第107図　(Fig. 107)
トコベイ卓礁
Tobi (Tokobei) Table Reef



1. Reef　2. Swamp　3. Sand and gravel

南方に先端を向ける卵形の卓礁であり、長径 2.6km、短径 1.3km、礁周 6.5km である。この礁上南に偏して1個の洲島（トコベイ島と称す）あり、その輪廓は礁と大体相似形を為す。長径 1,500m、短径 700m、島周 3,500m である。礁原は大観する時著しく平坦であり、殆んど水平に近い。この面上に高さ 30cm 以下の円盤状の *Porites* のベンチあり、その表面のみが低潮時に干出し、側面には珊瑚が生育している。又處々にベンチ上に更に 70cm の高さの干出岩あり、一岩一種の珊瑚から成る。その頂は高潮時にも僅かに海面上に露れている。礁原の外縁には石灰藻から成る小丘列(石灰藻嶺)あり、その高さは礁原上1m以下である。この小丘列の處までは礁原は殆んど水平に近いがこの外方では 5° 前後海方に傾斜し砕波線に達する。この斜面の幅は10m前後、砕波線より外方は急転直下数百メートルの深處に達する。礁原上には微弱であるが現生珊瑚の発育あり、20種が区別された。洲島は中央部は低く、一部は湿地でタ

第108図　(Fig. 108)
トコベイ島の断面
Profile of Tobi Island



Limestone　Coral gravel　Coral and foraminifera sand　Sea

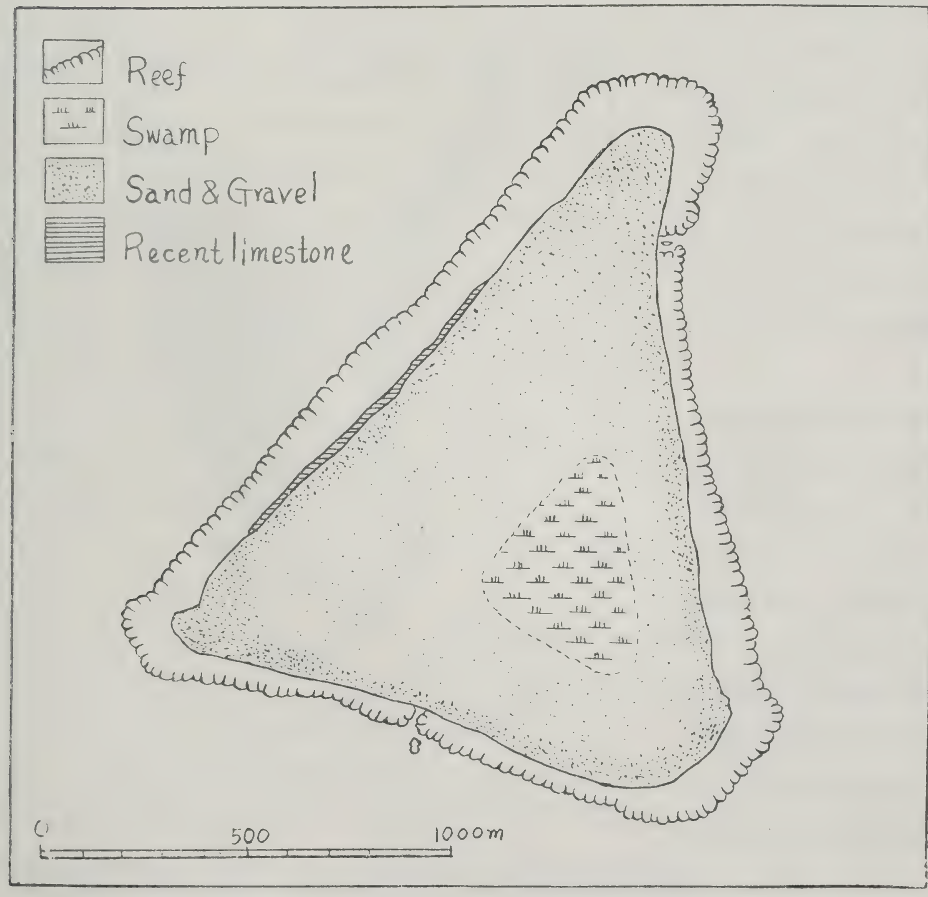
A. Nullipore ridge　B. Coral bench　C. Mushroom rock　D. Beach
E. Swamp　L_1. High tide level　L_2. Low tide level

ロ芋畑を為し、一部は燐礦採掘跡の凹地を為している。島の表面は有孔虫砂・珊瑚砂を主としその下には珊瑚の礫塊を見る。海岸を見るに西岸は砂、東岸は礫が主である。外洋斜面は一般に急で深さと共にその傾斜を減じている。又方向によって傾斜角に多少の相異が見られる。即ち同一深度（500m前後）を有する地点をとって比較すると北側で 40°、南側で 55°、西側で 41°、東側で 40° の平均傾斜を示している。

第 109 図　(Fig. 109)

南鳥島　卓礁の例

Marcus Island; example of table reef



f　南鳥島の卓礁（第109図）

南鳥島は望見したのみで踏査していないが過去の水路部資料と氣象観測員の言から綜合すると以下のようになる。即ち南鳥島は明に卓礁であり、輪廓が三角形で北西辺 1,900m、東辺1,800m、南辺 1,500mである。この礁上には礁と相似形の洲島（南鳥島）あり、北西辺 1,700m、東辺

1,600m、南辺 1,200mである。大体 5m 前後の高さを有する低平の島であり、主として珊瑚と有孔虫の砂礫の構成する處である。この砂礫層下には石灰岩の岩盤がある。一般に海岸に近く高く内部に低く中心部は湿原を為しており、過去に於てはここに沼があったとのことである。現成石灰岩は北西岸に見事に発達し海方に向って傾斜を示している。礁原の幅は北西辺が他の辺より広く 100mを越え、その外縁部に露岩及び干出岩の存在を見る。東辺と南辺に各1個の切り込みあり、ここが本島への上陸所となっている。

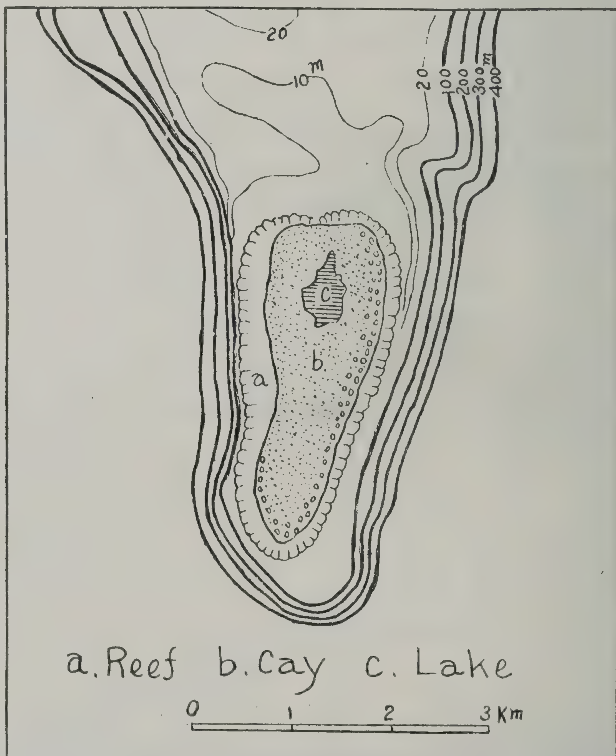
g 卓礁の性質

総てが小型の珊瑚礁であり、礁周最大がメジチの9 km、最小はグリメスの3.2 km である。礁原上には唯1個の珊瑚小島（洲島）を見るに過ぎない。ただし北マニラ礁にあってはその礁原上に漂礫を見るのみで未だ珊瑚小島にまで発達していない。

第110図 (Fig. 110)

シュック卓礁

Pulusuk Table Reef



珊瑚小島の輪廓は礁の輪廓と相似形であるのを原則とする。従って一般に楕円形・卵形に近いものが多い。珊瑚小島の形態は環礁のそれと大同小異である。偏東風の風上には漂礫嶺あり、風下には低い砂丘あり、中央部が低い。この中央部は環礁の珊瑚小島の場合よりも一般に低く、湿地帯を為し時に鹹水をたたえて小湖を為す場合もある。小湖の深さも準卓礁と大差無いものもあるがその面積に於いて著しく小であり、この点で区別される。尚小湖を有する卓礁はメジチ・エリップ・シュック（第110図）の3であり、大湿原を有する卓礁はキリー・プル・トコベイの3である。

蕈狀岩及び現成石灰岩の発達は概して貧弱なこと、外洋斜面の比較的急なことも卓礁の性質と見られる。多くの卓礁は絶海の孤島であり、かつ盆地形を呈するが故にここに燐礦の堆積を

見る場合が多い。卓礁はその位置の上から2種に区別される。その1は全く大洋底から独立しているものであり、その2は環礁に近く存在し、丁度火山に対する側火山のごとき関係にあるものであり、従ってその環礁との間には深海は無い。この範疇に入るものはアイリングラプラプ環礁に対するジャバット卓礁、ウルシ環礁に接するフララップ卓礁、中マニラ沈没環礁の北端に続く北マニラ卓礁、南マニラ沈没環礁に続くシュック卓礁は即ちこれである。これら第2種の卓礁はジャバットを除けば総てが西カロリン群島に属するものである事は注意に値する。

9. 沈没環礁 (Submerged atoll)

a グレーフェーザー堆と最上堆（附図第6）

南北に長い楕円形の沈没環礁であり、長径 74km、短径 46kmである。礁は南東辺に於て浅く20m前後の深度を有し、最浅15mである。北西辺に於て深く 35m前後である。礁湖はその深度50—70mであり、従って比深（礁原面より底面までの深さ）は30—50mとなる。尚最深箇所は中央部に位置する。外洋斜面は東西に於て非対称を為し、東側は西側に比し急である。北斜面は水深 300m前後の鞍部を距てて最上堆の南斜面に対している。最上堆は又一個の沈没環礁であり、その輪廓は矩形に近く東西46km、南北37kmである。礁湖の深さは大体45m、最深53mである。外礁は処々に水深15m前後の浅処あり、最浅部は西端にあり水深11mである。外側斜面はグレーフェーザー堆と同様東側が急である。グレーフェーザー堆・最上堆共に水道は西側にあるもののようである。

b マク、ローリン堆

周囲110km、東西 30km、南北 22kmのやや楕円形に近い輪廓を有する沈没環礁である。外礁の最浅箇所は西端に近く水深13mである。礁湖は 50—70m の平均深度を有し、最深は 86mである。尚最深部は北東に偏在する。水道は西側に2個存在するもののようである。

c ベラスコ礁（附図第17）

ガルアングル環礁を南端とし、これより北方に拡がる一大沈没環礁であり、東西 12km、南北32kmである。外礁は大体20mの水深を有し、最浅 12m である。礁湖の最大水深は 62m、平均 40m である。中央に淺く、北部と南部に深くなっている。礁湖底の側壁は東側に急で、西側に緩である。東側では礁原の外縁から礁湖底（水深40—50m）まで急傾斜を示している。水道は東辺及び西辺に各1個あり、共に北部に位置す。外洋斜面は測点少なく正確を欠くが、その東西両斜面共に北部に於て 2,000m以深に緩斜面が見られる。

d 沈没環礁の性質

沈没環礁の外礁の深度は大体海面下 10—20m であり、余り深いものを見ない。礁湖の深さは現水準面珊瑚礁の礁湖に比し測点少なく、正確を欠くが今日までの知識に於ては現水準面珊瑚礁と大差が無いと言うことである。尚最深はマク、ローリン堆の86mであり、現水準面珊瑚礁の最深(108m) のものより却って淺い。外礁が外方に突出し、他の環礁又は卓礁に続くもの

が多い。ベラスコ沈溺環礁がガルアングル環礁に続くが如くに。

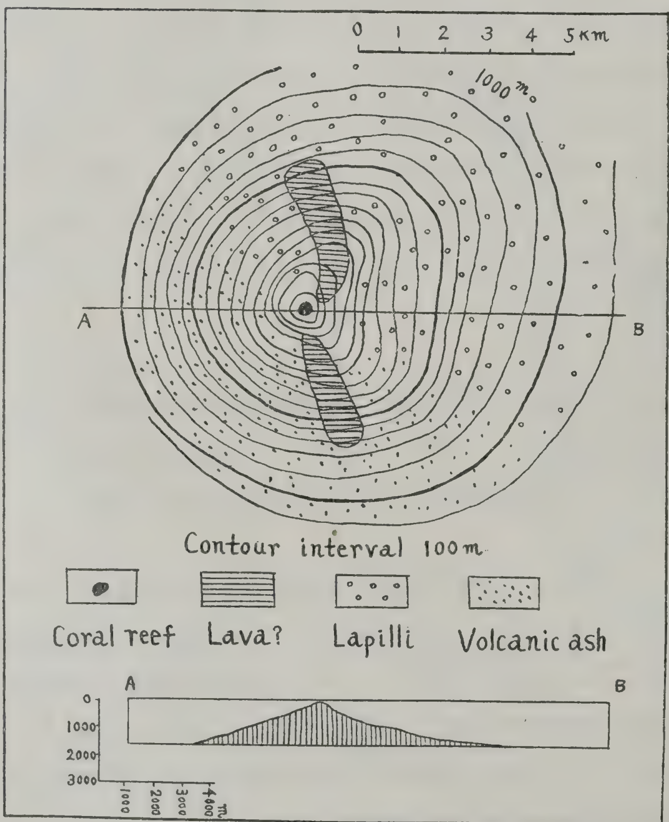
以上は沈下の度の低い沈溺環礁であるが、沈下の度の高い深海の沈溺環礁も存在するもののようである。勿論測点少ない故、浅海沈溺環礁のようには正確で無いが、これはコンドル堆東方 10M の處に位置している（附図第6参照)。その輪廓は大体円形で直径は大体 12km。外礁は最浅405m、平均800mの水深を有し、西辺に水道に相当するものがある。礁湖の水深は大体1,100m、最深 1,195mである。尚外礁上の底質に珊瑚が見られる。注意すべき事実である。

10.　沈溺卓礁と沈溺準卓礁

第 111 図　　(Fig. 111)

サップライ礁の水深図

Bathymetric chart of Supply Reef



a　サップライ礁

（第111図）

サップライ礁は前述のようにその位置・地形・底質から明瞭に海底火山と同定される。このサップライ海底火山の頂上火口壁に現在珊瑚が着生し、直径300mの珊瑚礁を形成している。この珊瑚礁の最浅部は 8.3mであり、中央部が外縁部より 5—10m深い。従ってその形態は現水準面準卓礁に近似する。もし地盤が現状のままであるか又は徐々に隆起するならば中央部の凹處は珊瑚屑と珊瑚それ自身の生長発育のため埋められ、海面に達し、卓礁に移化するであろう。

サップライ礁の基盤を為す火山の成生が最近地質時代にあることは明であるから、その頂上を被うている礁冠の厚さは極めて薄いものであると思考される故、この点普通の現水準面準卓礁と趣を異にする。普通の現水準面準卓礁が沈下したと思考されるものは南洋群島には次に述べるヤンジー洲の例を除いては未だ発見されていないが後述の沈溺卓礁38個の中にはこの沈溺

準卓礁の範疇に入るものもあるべしと思考される。特に直径の長大なるものに於いてその疑を深くする。西カロリン海嶺上のヘレネ洲（最浅 9 m、長さ 14M）の如きはこの疑が濃厚である。

b ヤンジー洲

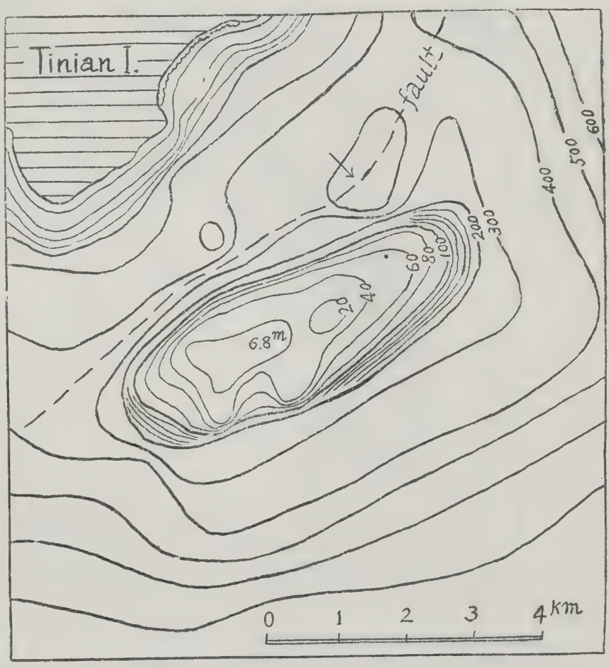
ヤンジー洲は東西の2礁に分たれ、東ヤンジー洲は更に東（Ⅰ）・中（Ⅱ）・西（Ⅲ）の3礁に分れる。東ヤンジー洲の中央礁（Ⅱ）は最大であり、その輪廓は瓢簞形を呈し、上瓢の部は直径 3 km、下瓢の部は 6 km、くびれた處の幅は1.5km、礁周21km、である。礁原は著しく平坦であり、この上には現生珊瑚の発育は著しく不良であり、珊瑚は殆んど石灰藻により被覆されて死滅しているのを目撃した。然して *Halimeda* その他の海藻の主として生育する處である。礁原の最浅は南北の両縁にあり14m、中央のくびれた處で深く、最深30mである。この点現水準面準卓礁に近似するので沈没準卓礁と同定される。外洋斜面を見るに側線は二次曲線で示され、南東斜面で測定するに 500m 位の深さまでは 45°であり、1,000m にて30°、1,500mにて15°となる。又注意すべき事は斜面に谷を暗示するような凹地の存在する事である。東ヤンジー洲の東礁の最浅部は水深 13m、西礁は12m、西ヤンジー洲の最浅部は水深4mであり、その形態は現水準面卓礁に近似するので沈没卓礁と同定される。特に西ヤンジー洲は現水準面卓礁に酷似する。

第 112 図 (Fig. 112)

巽礁、沈沒卓礁の例

Tatsumi Reef

Example of a submerged table reef



以上の諸事実から東ヤンジー洲の珊瑚礁は沈没解析火山に着生したもので無いかの疑問が起る。若し然りとすれば東ヤンジー洲の東礁と西礁とは側火山になり、斜面の凹處は放射谷、中央礁の東方よりの入り込みは爆裂火口となる。尚西ヤンジー洲は東ヤンジー洲の火山と双子火山を為すものであると見做される。

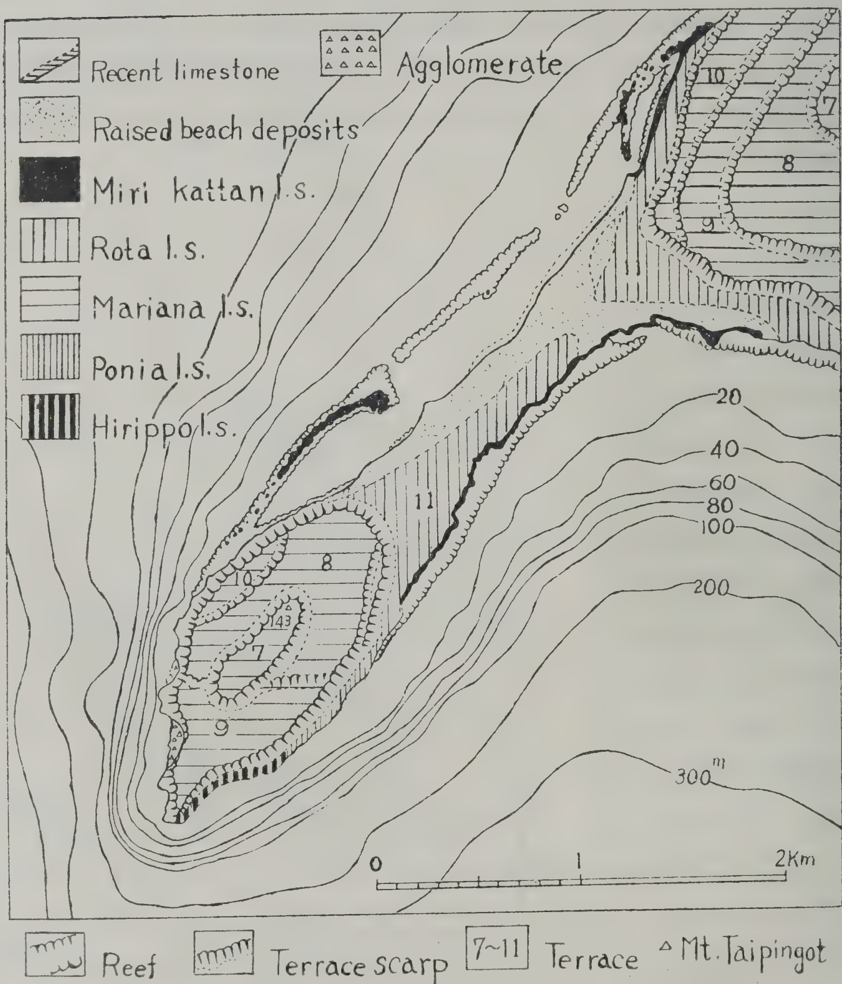
c 巽 礁（第112図）

第 113 図　(Fig. 113)

ロタ島南西海岸の地形・地質図

Topographic and geologic map of the southwest coast of Rota I.

Showing almost barrier reef



テニアン島の南端沖 3kmの處にあり、東西に長く、長さ5km、幅2km、その表面は著しく平坦である。深さは最淺 6.8m、大体 60m 以淺である。現在この面上に現生珊瑚の発育がある。明かに沈沒卓礁と称すべきものである。かつてテニアン島の一部であったものがその後、断層により現位置に来たものであると思われる。何となればこの礁の北斜面は南斜面に比し著しく急であり、かつテニアンと本礁を分つ水道の最深線は本礁の北斜面の直下を走りここに断層線が想定される。その方向は東北東—西南西で同様の構造線はテニアン島に普通である。

d 沈沒卓礁の性質

沈沒卓礁はその数38の多きに拘らず実地調査したのはヤンジー洲の3礁のみであり、從ってこの少数卓礁の性質を以って全卓礁の通有性と見做すことは危険である。今日までの資料に於ては現水準面卓礁が小型であるに反し沈沒卓礁には更に大なるものがあると言い得るに留まる。勿論將来測深の密度が大になればこれら大なる沈沒卓礁のあるものが沈沒準卓礁又は沈沒環礁となることが期待される。

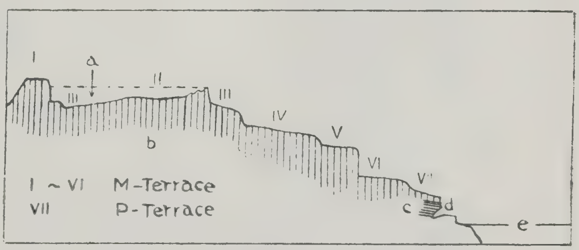
11. 隆起卓礁

隆起卓礁は2種が区別される。第1種はサイパン島のナフタン山頂とハグマン山頂、テニアン島のサワネタワーチ山頂、ロタ島のマニラ山頂とタイピンゴット山頂(第113図)、グァム島のバリガーダ山頂の隆起卓礁である。これらは何れも表面積は小で、基盤が比較的淺く、かつ細長いのを特徴とし、この点現水準面卓礁とその趣を異にする。しかしこれらは隆起後侵蝕を受けた形であり、從って隆起前に於いては今日の卓礁と大差が無かったものかも知れない。これらは何れもマリアナ石灰岩時代の卓礁であることは注意すべきことである。

第1種が西部群島に局限されているに反し、第2種のものは東部群島に局限されている。即ちフハエス島上の隆起卓礁とオーシャン島上の隆起卓礁とはこれに属す。これらは現水準面卓礁とその規模に於て、又その形態に於て近似するものがある。フハエス隆起卓礁にあってはその周縁部に3個の侵蝕殘岩を見る事は前述した處であるが、これは現水準面卓礁の礁原上に於ける蕈狀岩と同一性質のものであると見るべきである。フハエスのものはフハエス石灰岩時代、オーシャンのものはラリック石灰岩時代の卓礁である。

隆起卓礁を構成する礁石灰岩の厚さは第2種のものにあっては基盤の露出無きため、測定し得ない。第1種のものにあっては基盤の露出ある故測定容易であり、サイパンのものは10m前後、ロタのマニラ山のものは僅かに1—2m、タイピンゴットのものは最も厚く大体 40m 前後と思考される。グァムのバリガーダのものは深井の材料から大体100m と推定される。

第114図 (Fig. 114)
アギーグアン島の断面、礁段丘を示す
Profile of Aguijan I., showing reef terrace



I. 180m-Terrace II. 160m-T. III. 150～130m-T. IV. 110～90m-T. V. 80～60m-T. VI. 45～40m-T. VII. 30～20m-T.

a, Lagoon of almost table reef age b, Mariana Limestone
c, Aguijan Limestone d, Abrasion bench e, Low tide level

12. 隆起準卓礁（第114図）

アギーグアンの隆起準卓礁はアギーグアン島頂に発達す。マリアナ石灰岩時代の所産である。アギーグアン島に発達する礁段丘の第1段(上位より)と第2段とは当時の外礁に、第3段は礁湖底にあたるものである。現水準面卓礁の外礁は同一水準にあるが、この隆起準卓礁にあっては北辺高く（第1段面）、南辺は低い（第2段面）。この点現水準面卓礁とその趣を異にしているのであるがその他の点即ち規模に於て、又礁湖の深さに於ては近似するものがある。

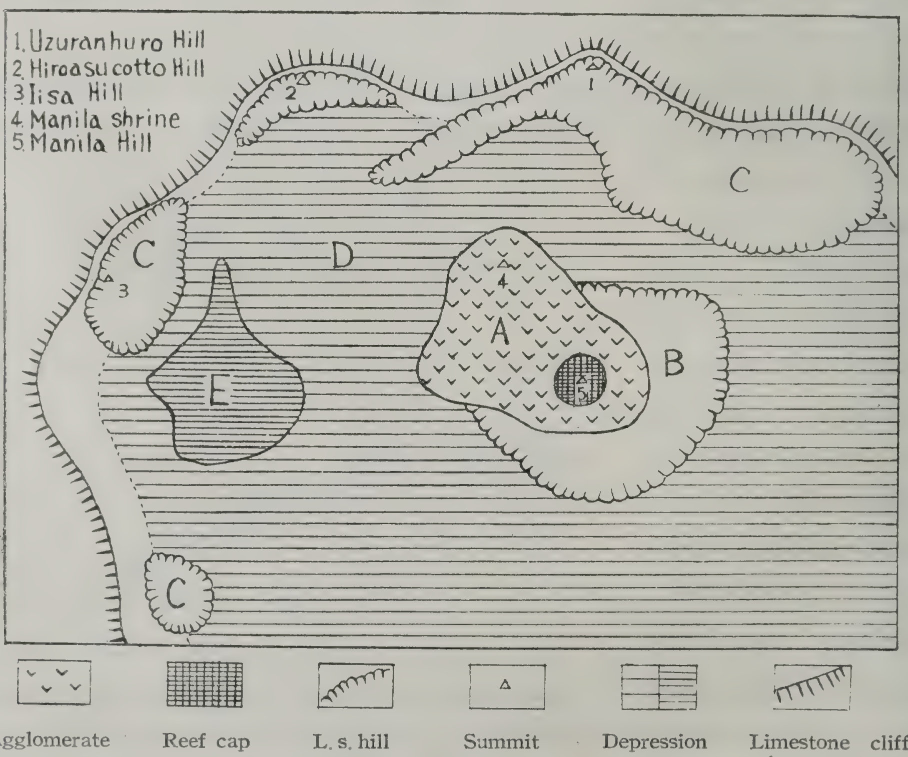
本隆起準卓礁下には基盤の露出無く、従って礁石灰岩の厚さは不明であるが島の中核に基盤あり、この上にはアギーグアン石灰岩及びそれより古期の第三紀の石灰岩あり、しかしてその上にマリアナ石灰岩が載っているとサイパン・テニアンの例から想像される故、本島の高さ187m が即ち礁石灰岩の厚さとは言うことを得ない。恐らく更に薄く大体50m位のものであると想像される。

第115図　(Fig. 115)

ロタ島の隆起準堡礁（復旧図）

Raised almost barrier reef of Rota I.

Restoration of the raised almost barrier reef of Rota I.



A. Central island　B. Inner reef　C. Outer reef　D. Lagoon

E. Deeper part of lagoon　(20 metres deep)

13. 隆起準堡礁

a ロタの隆起準堡礁（第115図）

ロタ島の隆起準堡礁は形成当時の中央島たるマニラ山を囲繞して発達している。尚マニラ山頂に僅かに存在する石灰岩の残片は一時代前の隆起卓礁の名残りと見るべきものであることは前述した處であるが、これはこの下の基盤岩たる火山岩丘と共に次期の隆起準堡礁の中央島となっているのである。

隆起準堡礁の内礁は中央島の東斜面のみに発達している。外礁は北辺に於て最も鮮明であり、南辺に於てはこれを見ない。恐らく隆起後の侵蝕又は崩壊により消滅したものであろう。礁湖は5—10mの深さを有し西側外礁に近く20mの深處がある。燐礦はこのかつての礁湖の低地帯に堆積しているのである。

第115図は本隆起準堡礁の復旧図であるがこれを現水準面準堡礁と比較する時その規模に於て小であると言う以外には何等の相異を発見し得ない。隆起準堡礁の外礁を構成する石灰岩の厚さは外礁外側の断崖下に基盤岩（集塊岩）が露出している故に測定は容易であり、ロタ水道の水源地洞窟上の断崖から推定して大体厚い處で50m前後であると思考される。尚本堡礁は南方に傾く平坦面上に楔形に附着しているものであることは第116図の断面図から了解されよう。これはマリアナ石灰岩時代の形成にかかる。

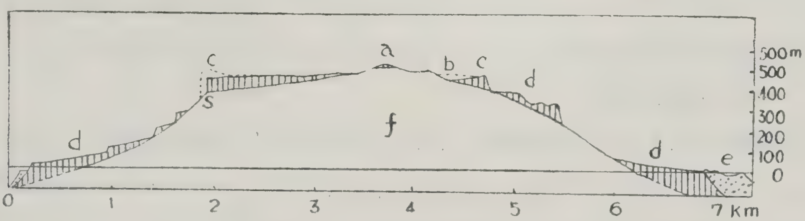
第 116 図 (Fig. 116)

ロタ島の断面

隆起卓礁、隆起準堡礁、隆起裾礁を示す

Profile of Rota Island

Showing raised table reef, relict lagoon, raised almost barrier reef and raised fringing reef



a. Raised table reef　b. Relict lagoon　c. Raised almost barrier reef

d. Raised fringing reef　e. Sea level coral reef　f. Foundation (volcanic rock)

s. Spring in limestone cave

b グァムの隆起準堡礁（第121図）

グァム島の隆起準堡礁が本島の北半部を占めていることはこの地区の最高處は海崖上にあり、これより内陸に向って低くなっていることから容易に想像されることである。形成当時の中

央島はバリガーダ山とサンタローザ山であり、外礁は主としてこの中央島の西方並に北方に発達したものである。従って礁湖はこれら中央島の西方と北方に広い。礁湖の深さは大体5—10mである。形成後その南西部に断層生じこの方面の外礁と礁湖の変位を生じたと思考される理由がある。この準堡礁の外礁を構成する石灰岩の厚さは北東角の大断崖の高距（180m）から推して大体200m余と想像される。

グァム島準堡礁の他の1種はラムラム山上の隆起環礁（後述）の北側に附着するものであり、輪廓は大体三角形（西辺1,100m、東辺及び南辺1,400m）、水道は東西に各1個あり、礁湖の深さは大体20m前後である。この隆起準堡礁は現在テニアンに見る現水準面準堡礁に酷似する。これらの準堡礁は何れもマリアナ石灰岩時代の形成にかかる。

14.　隆起堡礁

a　グァムの隆起堡礁（第117図）

グァムには2種の隆起堡礁がある。第1種はアプラ港の隆起堡礁であり、マリアナ石灰岩時代のものである。北壁のカブラス島（Cabras I.）、南壁のオロテ半島（Orote P.）は当時の外礁にあたる。礁湖はその深度大であり、現在50mに達し、形成当時に於ては更に深く100m位あったものと推定される。外礁を作る石灰岩の厚さはオロテ半島先端の断崖から推して少なくも60m以上のものであると想像される。

第2種はオロテ半島の南方の海岸に発達するものであり、バリガーダ石灰岩（古期隆起珊瑚礁石灰岩）時代のものである。アルトム島（Alutom I.）・アナエ島（Anae I.）・ファシピ島（Facpi I.）はその当時の外礁である。礁湖の幅は北より南に至るに従って広くなり、最広1,200m、水深も南するに従って深くなり、現水面下1.5m、形成当時に於ては更に深く30mに達したものであることは、アナエ島の高さ（12m）と礁湖の深さから想像される。第2種は第1種に比し規模が遙かに小である。しかし第1種でも現水準面堡礁に比し著しく規模が小であり、寧ろサイパンの現水準面堡礁に近似する。唯深さが著しく大なる点に於て異なる。

b　パラオの隆起堡礁(44)

パラオの隆起堡礁はグァムの隆起堡礁とややその趣を異にし、外礁は北に於いては中央島（バベルダオブ・アラカベサン・マラカル・コロール島）に接近し（アルコドロックル（Gorak）・ガショコス（Ngothugothu）・オロプシャカル（Aurapushekaru）・ガランゴル（Ngargol）島はこの例）、一部に於いては内外両礁合し海岸線に直交する處の礁半島を形成している（ガラヤム（Garayamu）・ガッレル（Pkulapnei）・コロール岩山はこの例）。南するに従って中央島から離れる（ウルクターブル（Urukthapel）・マカラカル（Eil Malk）・オルクイズ（Orukuizu）・オモガン（Omogan）・ガミリッシュ（Ngemelis）・ガラカヨ（Garakayo）はこの例）（大体（1）ウルクターブル—ガムドコ—アプラショコル線（2）マカラカル—オモガン—ゴムゴムル線（3）ガラカヨーオモガン線の3段階を經ている）。而して最南に位

置するものはペリリュー島である。内礁は外礁の内側に接して無数に散布している。岩山湾内の俗称“松島”、ウルクターブル内側の俗称“大松島”はこの好例である。これら内礁中の小なるものは現在蕈状岩となっている。外礁中大なるもの即ち、コロール・オロプシャカル・ウルクターブル・マカラカル島の如き石灰岩島に於いては島軸に沿うて海岸に近く低地帯あり盆地・湖沼・谷・湾入を為し、或はケルンコル状の鞍部を作り、ここに地裂線の存在を思わしめるものがある。尚この線を境として高度の急変が見られる。即ち内側の石灰岩頂面は段丘の第1段又は第2段面であり、外側石灰岩頂は第3段面である。この低地帯の成因に関しては二つの可能の場合がある。その一つは断層作用であり、低地帯を断層線に沿うて働く溶蝕・侵蝕の結果と見るのである。その二は礁段丘作用（珊瑚礁の間歇的上昇）である。即ち低地帯を現在クサイ島に見る如き舟艇水路の萠芽と見るのである。今日までの處断層の資料乏しく第1因は困難であり、従って第2因が主因であると思考せざるを得ない。然る時は外側低位石灰岩は又内側高位石灰岩斜面に附着せる隆起準堡礁となる理である。

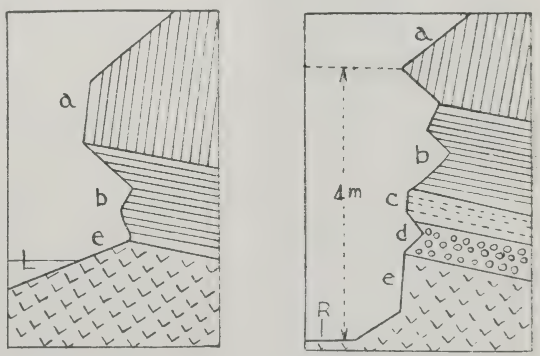
外礁を構成せる石灰岩（パラオ石灰岩）の厚さはウルクターブル島に於いて測定するに大体300m となる。即ち石灰岩島の最高は 220m であり、従って風化作用による山頂低下を計算に入れれば石灰岩の厚さは海面上 220m を越え、更に現在の礁湖底より立っているとすれば 220m＋60m＝280m を越える。基盤が礁湖底に無く更に深所にあるとすれば更に石灰岩は厚くなり、基盤が海面と礁湖底面間に露出するとすれば多少薄くなる理である。基盤岩が南するに従って低下していると見るべき資料があることと、ウルクターブル島の水面近くの石灰岩の性質を考慮に入れる時は基盤岩が礁湖底より下位にあると見る方の可能性が多い。かくて石灰岩の厚さは 220m 以上厚く 300m 位のものがあると推定した次第である。

パラオ隆起堡礁の基盤岩に対する接触狀態は数箇所に於いて目撃出来る（第118・119図）。

第 118 図　(Fig. 118)

パラオ石灰岩と基盤岩との接触

Contact of basement rock and Palau Limestone



(A)　(B)

a. Coral limestone　b Montipora bed

c. Tufaceous sandstone　d. Basal conglomerate

e. Foundation (Agglomerate)

R. Reef-flat　L. Low tide level

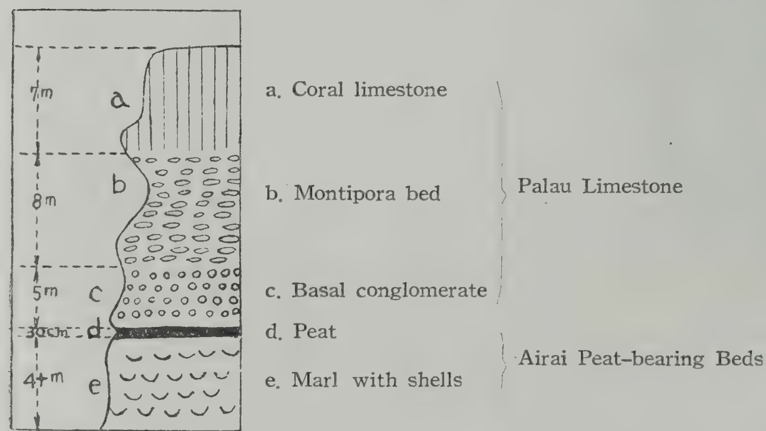
第118図に示す如く基盤岩は集塊岩（アイミリーキ集塊岩）であり、この上に隆起堡礁を作る地層即ちパラオ石灰岩が不整合に載って来ている。この地層の基底部は礫岩・砂岩であり、その上にアクロポラ層（*Acropora*・*Montipora* のみより成り黄灰色を呈する石灰岩又は泥灰岩）が来ている。この点現在の内礁を *Acropora*・*Montipora* が絶対優位を以って形成しているのと全く一致している。砂岩・礫岩を欠く場合にもこのアクロポラ層を欠くことがない。従ってアクロポラ層が露出していれば基盤岩もあまり深からざる處にあるとの見通がつく。基盤の表面は割合に平坦で傾斜を持っている。この傾斜面に並行して前記の地層も僅かに傾斜している。即ちこれら地層の傾斜は地動によるもので無く堆積当時既に傾斜を持っていたものであることは注意すべきことである。

第119図　(Fig. 119)

コロール島（パラオ）の道路に於ける露頭

Outcrop in road cut in Koror I.

Exposing Palau Limestone and Airai Lignite-bearing Beds



c　ヤップの隆起堡礁

ヤップの隆起堡礁は前記のパラオの隆起堡礁に似たものがあるが遙かに規模に於て小であり、更に破壊の度が進んでいる。内礁を欠き外礁はガリム・イリックの2島として残存しているにとどまる。パラオの隆起堡礁と同様にマリアナ—パラオ石灰岩時代の形成にかかる。礁石灰岩の厚さは10m以上であることは確実であるがそれ以上は不明である。

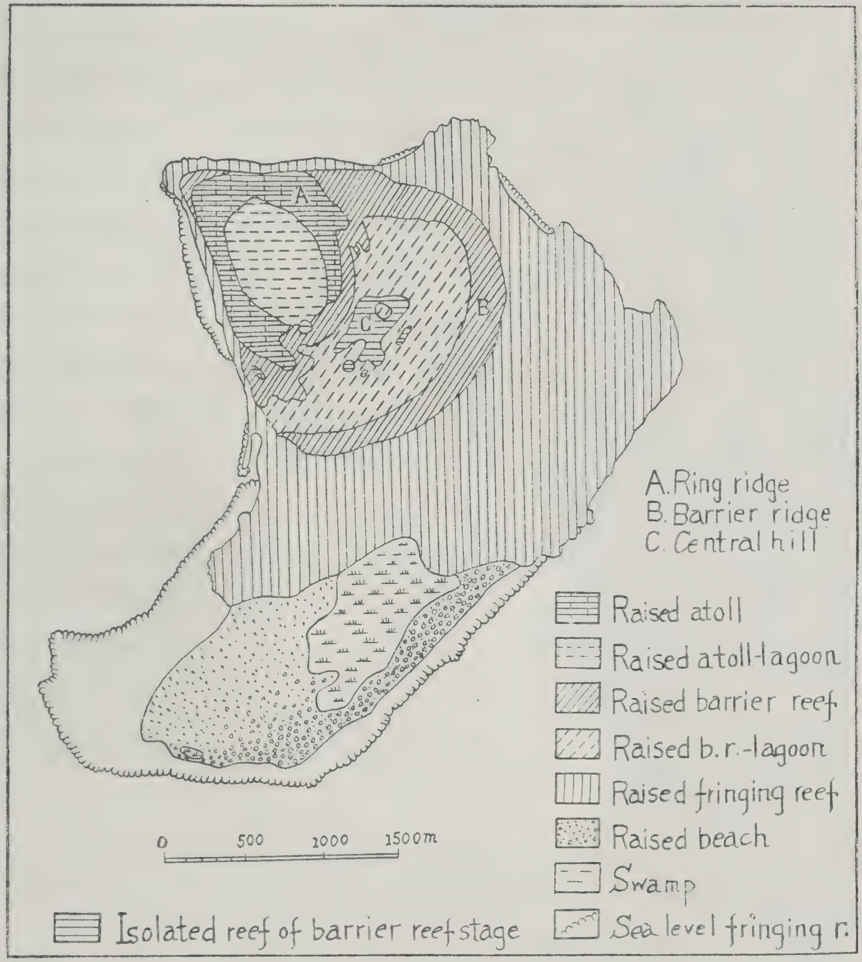
d　アンガウルの隆起堡礁※（第120図）

（註）アンガウル島は戦前は密林の蔽う處であったので調査が十分できなかったのであるが、戦時中一度焼野原と化したので調査は容易となった。かくして戦後の調査により本島の地形・地質が明になり、ここに見事な隆起堡礁の発見となったのである。

第 120 図 (Fig. 120)

アンガウル島の隆起珊瑚礁と現水準面珊瑚礁

Raised and sea level coral reef of Angaur Island

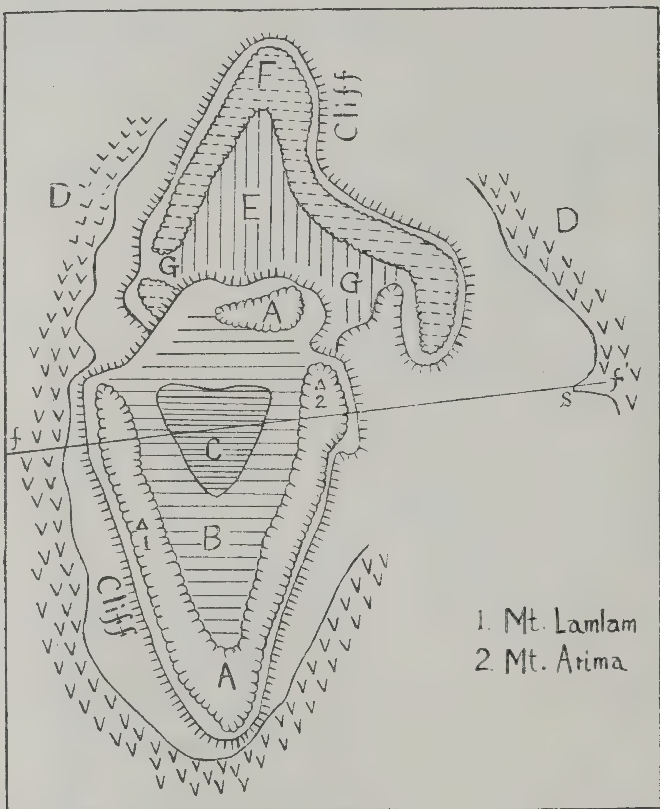


アンガウル島の北西隅に環状嶺あり、その東側にあたってこれを包囲するような形に於て堡状嶺が存在し、両者の間に盆地を抱く。盆地底には現在燐鑛採掘の結果として湖沼が生じている。この堡状嶺が即ちかつての堡礁の外礁にあたり、環状嶺東斜面の段丘が内礁にあたる。しかして盆地が即ちかつての礁湖の湖盆を代表するものである。従って礁湖中の離礁にあたるものが中央丘陵でありこの中に又小湖盆を抱く。離礁は又２条の並行丘陵の合着したものと見ることができ、しかも各々の末端が環状嶺東側斜面の半島状突出部即ち山脚の方を指向しているので、これらの各々は又かつての堡礁を代表するものであると想定することができる。従って環状嶺東側に同心円的に配列する三重の堡礁が想定される。これらの隆起堡礁は皆、新期パラ

第 121 図　(Fig. 121)

グァム島ラムラム山上の隆起環礁と隆起準堡礁の復旧図

Restoration of raised atoll and raised almost barrier reef on the summit of Mt. Lamlam, Guam I.



A. Outer reef of atoll　B. Lagoon of atoll
C. Deeper part of lagoon or doline
D. Foundation rock　E. Lagoon of almost barrier reef
F. Outer reef of almost barrier reef　G. Passage
f～f′ Section line　s. Spring

オ石灰岩時代の形成にかかるものである。尙当時の礁湖は南西端の水道を通って外洋に通じていたことは明であるがその深さは明かでない。現在の湖沼は採掘の結果であり、採掘前の湖盆の形が不明である。唯堡狀嶺の高さは大体15mであるから当時の礁湖の深さは15m前後であったであろうと想像するのみである。尙隆起堡礁が環狀嶺の東側のみにあり、西側にその発達を見ないのは断層により切断されて消失したと解すべきである。

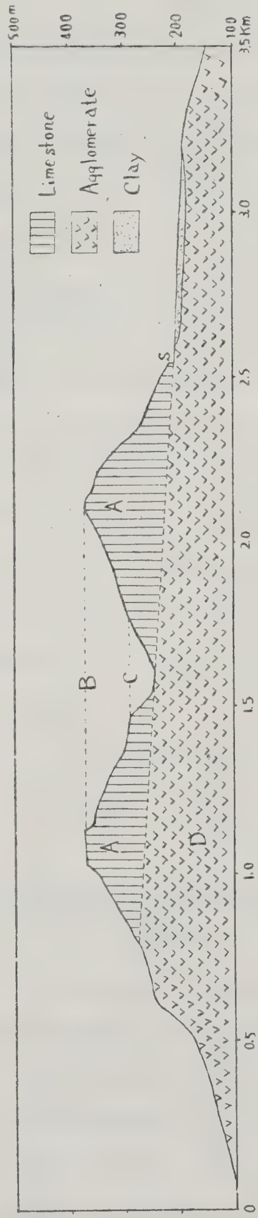
15. 隆 起 環 礁

a グァム島の隆起環礁（第121図）

グァム島のラムラム山頂を図上で観察する時は一大火口の存在を思わしめるものがあるが実地に見る時これが隆起環礁であることを知る。この隆起環礁は第 121 図に示すように大体三角形の輪廓を有し、その周大体　4.5km、外礁は 2 個の礁断片から成り、北部に 2 個の水道を有

す。礁湖にあたる部分は著しく深い(大体 130m) 盆地を為している。しかしこの全部が旧礁湖の深さと速断するを得ない。何となれば 第122図 に明瞭なる如く盆地斜面に傾斜の急変点あり、これ以下に於て急傾斜を為している。恐らくこの中心部は後世的のドリネであり、従って形成当時の礁湖の深さは大体 100m位のものであると想像される。この深度は現水準面環礁の最深のものとほぼ同値であることは注意すべきことである。これはマリアナ石灰岩時代の環礁である。

基盤の形態は第122図に示すように大体平坦であり、東方に向って傾いているものと思考される。この環礁の東西両斜面に於て観察される處の基盤と石灰岩との接触点を結びつければこの一線は盆地底に接して通過する。東斜面の接触点に於ては石灰洞が存在し豊富なる湧水が見られ、これがグァム島水道の水源地をなしているのである。これに対し西斜面の接触点に於ては全くかくの如き地形と現象を見ることができない。このことは基盤が平坦で東方に傾いていることを示す1資料である。又ラムラム山の南北に接する石灰岩の非被覆地帯に於ては山頂面は平坦で最高處は西端にあり、東方に傾いているのを見る。これ基盤が平坦で東方に傾いていることを示す第2の資料である。恐らくこの平坦面は準平原であろう。盆地の中心部にドリネを生ずることの可能性もこの基盤の形態から推定される。外礁を作る石灰岩の厚さは第122図から判断される如く最厚150mである。



第122図 (Fig. 122)
グァム島ラムラム山上の隆起環礁の断面
Profile of raised atoll on the summit of Mt. Lamlam, Guam Island

A Outer reef of atoll B. Lagoon of atoll C. Deeper part of lagoon or doline D Foundation S. Spring

b アンガウルの隆起環礁※ (第120図)

(註) 戦後の精査によりその性格が判然したものである。

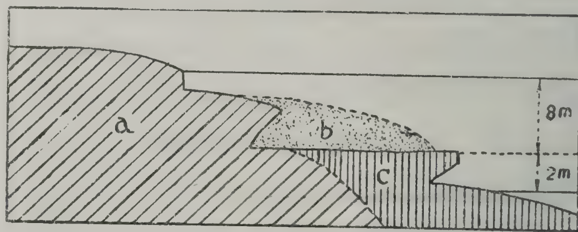
アンガウル島の北西隅の環状嶺が即ち隆起環礁である。その輪廓は大体楕円形で長径 1,200m、短径 800m、中央の盆地が即ち過去の湖盆に相当するものであり、その輪廓は又楕円形を呈し長径800m、短径 600m で

ある。この盆地の南に偏して燐礦採掘の結果として生じた湖沼がある。過去の礁湖の再現と見るべきである。過去の外礁にあたる環状嶺の高さは大体45—30mであるから礁湖の深さは30mより浅かったと思われる。盆地底は現在階段状を為しているがこれは明に燐礦の階段掘の結果ではあるがもともと階段状の地形のあったことは燐礦採掘跡の筍状岩の切頂面が平坦で階段状を為していることから推定できる。即ちこれらの階段状の地形は礁湖水の退却に従ってその時、その時に生じた後生の裾礁面と見るべきである。要するに礁段丘であるのである。過去の水道と見るべきものが1個南辺にあり、鞍部となっている。この環礁はパラオ石灰岩時代の形成にかかるものである。

第 123 図　　(Fig. 123)

ロタ港海岸の断面

Profile of coast of Rota Harbour



a. Rota Limestone　　b. Raised beach deposits

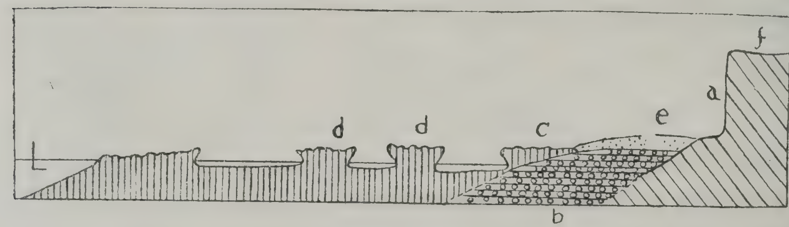
c. Mirikattan Limestone

第 124 図　　(Fig. 124)

ロタ島ミリカッタン海岸の断面

Profile of the Mirikattan Coast, Rota Island

Showing raised beach deposits and mushroom rocks



a. Mariana Limestone　　b. Lower bed of Mirikattan L. S. (Coral conglomerate)

c. Upper bed of Mirikattan L. S. (Coral limestone)　　d. Mushroom rock (height 2.6 metres)

e. Raised beach deposits　　(f. Foundation)　　L. High tide level

c ナウルの隆起環礁

ナウル島には中央より南西に接して盆地あり、その一部に水を湛えて湖水を為している。この湖盆の成因に就いては礁湖の名残と見る意見とドリネと見る意見とがある。筆者は未だ実地踏査をしていない故何れとも断定し得ないが前説をとりたいと思う。カロリン石灰岩時代の所産と思考す。尚この隆起環礁の外側に2條の礁嶺ありと聞いているがこれは或は後期（古期隆起珊瑚礁石灰岩時代）の隆起堡礁の外礁に相当するものでなかろうか。

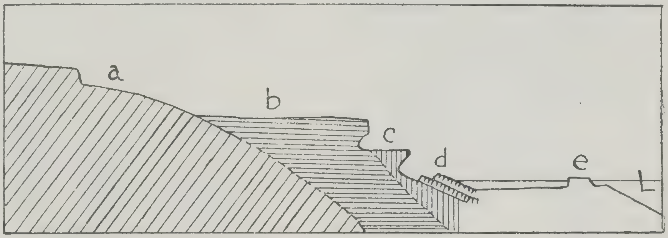
16. 隆起裾礁

隆起珊瑚礁中最も多いのは隆起裾礁である。地質的にはマリアナーパラオ石灰岩時代のものから新期隆起珊瑚礁石灰岩時代に至るまで、地理的には、東西両群島にわたり、海抜420mの高位のものから、海抜僅か1—2mの低位のものに至るまで各種存在する。即ち北部マリアナ(パガン島)のものは新期隆起珊瑚礁石灰岩時代、南部マリアナ（サイパン・テニアン・ロタ・グァム等）のものはマリアナ石灰岩時代から新期隆起珊瑚礁時代、パラオ群島（ペリリュー・アンガウル等）のもの又同様、新期隆起珊瑚礁時代からパラオ石灰岩時代、東部群島のものは古期隆起珊瑚礁石灰岩時代から新期隆起珊瑚礁石灰岩時代の形成にかかるものである。古期のものは高位にあり、新期のものは低位にある事は勿論である。

第125図 (Fig. 125)

サイパン島チャッチャ海岸の断面

Profile of the Chatcha Coast, Saipan Island

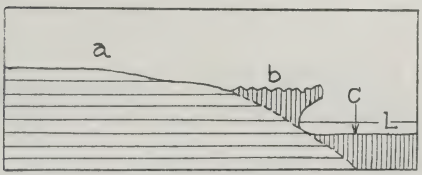


a. Mariana Limestone b. Chatcha Limestone
c. Tanapag Limestone d. Recent limestone
e. Nullipore ridge L. Medium tide level

第126図 (Fig. 126)

テニアン島ソンソン海岸の断面

Profile of the Sonson Coast, Tinian I.



a. Sonson Limestone(Halimeda and coral limestone, whitish)
b. Dankuro Limestone (Coral l.s with Tridacna, yellowish)
c. Reef-flat

一般に地盤の間歇的隆起の結果は裾礁をして礁段丘の形態をとらしめる。この礁段丘の段丘面が総て堆積面でないことは第123図・第124図に示す如き断面を見る時、又現在の裾礁を観察する時これから類推されることである。即ち礁段丘の内帯は侵蝕面、外帯は堆積面である。この侵蝕面と堆積面との比は場處、場處によって大いに異にする。尚侵蝕面はこれより高位の面の下のノッチ底に連なるのを原則とするが古期のものになればその接触関係が不鮮明である。

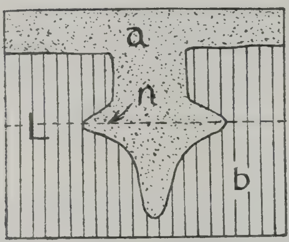
隆起裾礁の地形的の特質の第1はノッチの存在である（第125図)(第126図)。高位のノッチはしばらく置き現水準面の處にある最低位のノッチについて考察を試みるにノッチの形成の因子として（1）物理的侵蝕、（2）生物による侵蝕、（3）化学的侵蝕の3を擧げることがで

きる。第1の因子のみによって形成されるもので無いことは全然風波の立たない隆起珊瑚礁地帯内の小湖岸に於ても外洋岸と同様に形成されている事実から証明される。筆者はパラオの岩山湾内の小湖を始めて見た時最も奇異を感じたのはこの事実であった。第2の因子のみによらないことはペリリュー島の燐礦採掘跡にて観察される如く海藻その他の生物の繁殖不可能と覚しき地下深處に於ても地下水面（水準面とほぼ一致す）の處に於てノッチの形成が見られる事実（第127図）から推理される。このことは半沢教授[12]も指摘された處である。ノッチは矢部長克博士が暗示された如く、南洋特有のスコール直後の酸性化せる海水表層による化学的侵蝕（第3因子）が主因であり、第1・第2因子は副因と見るべきであろう。

第 127 図　(Fig. 127)

ペリリュー島燐砿採掘場の断面

Profile of phosphate mine, Peleliu Island



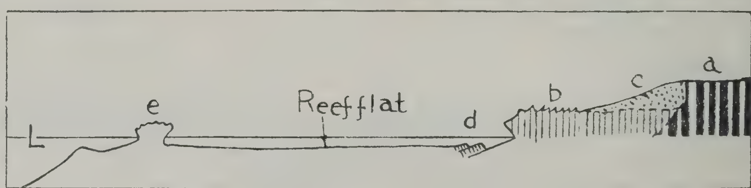
a. Phosphate
b Limestone
n. Underground notch
L. Sea level

総ての隆起珊瑚礁、特に隆起裾礁の地形的の特質の第2はカルスト地形の存在である。ドリネ (Doline) は南部マリアナに於てはその標式的のものをマリアナ石灰岩から成る隆起裾礁の礁原上に見ることができるが、パラオ群島に於てはペリリュー石灰岩上に少数のドリネを見る以外にパラオ石灰岩上にウバーラ (Uvala) 状の凹地があり、これが後天的のウバーラか、先天的の隆起礁池かその判断に苦しむ場合がある。しかしそれが余りにも多く密集し、蜂窩肰を呈している肰態は丁度パラオ本島南部海岸の現水準面珊瑚礁に見る礁池（第78図）と酷似している事実から推してその大部分が先天的の隆起礁池であると推定した次第である。これと同様の理由により海岸に並行に走る低地帯をポリエ (Polje) で無く、隆起礁湖の一部と推定した次第である。

第 128 図　(Fig. 128)

テニアン島ウネチュウロ海岸の断面

Profile of the Une-Chiuro Coast, Tinian Isiand



a. Sonson Limestone (?)　b. Dankuro Limestone
c. Dune sand　d. Recent limestone
e. Mushroom rock　L. High tide level

ラピエ (Lapié) の地形はこれを2種に区別できる。その1は燐礦採掘跡に見られるものであり、その2は各種石灰岩の表面、特に海崖上に於て見るものである（第128図）。前者は規

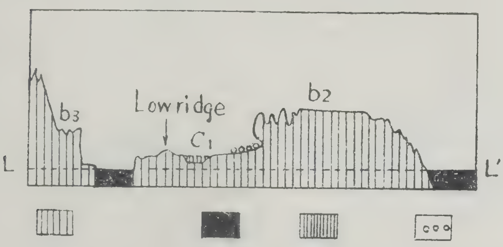
模に於て大であり直立坑は深く（最深25m）筍状の石灰岩柱は巨大であり、その表面は大観して平滑である。これに対して後者は小規模であり、表面は犬牙状を呈し"つるぎの山"と言う感が深い。直立坑の深さも3mを越える場合が少ない。この規模と形態との相異は成因の相異を暗示するものであり、先学がすでに着目せる如く、前者は燐礦化による化学的侵蝕、後者は雨水による化学的並に物理的侵蝕がその主因であると推断される次第である。

隆起裾礁の地形的特質の第3はその内縁が外縁に比し却って低いと言うことである（第129図）。この点礁段丘が普通の海岸段丘と趣を異にする處である。このことは幅の狭い礁段丘では不鮮明であるがアンガウル島の隆起裾礁の礁原のように幅の広い處に於ては明瞭である。この原因として二つの場合が考えられる。その1は裾礁発達過程中の地盤の沈降である。もしこの沈降の量がもっと大であれば準堡礁となり、更に堡礁となる筈である。その2は雨水による侵蝕である。スコールの直後に於いて最も長く表面水層を保持するのは礁段丘崖下である筈である。従って雨水の溶蝕をうける時間が礁段丘の内縁部に於て最も長く、結果として最も溶蝕が進む理である。燐礦の堆積を見るのもこの處であり、アンガウル島に於てはその採掘の結果としてここに小湖を生じている。

第129図 (Fig. 129)

アンガウル島の隆起裾礁の断面

Profile of raised fringing reef of Angaur Island



b_2,b_3. Lower Palau Terrace C_1. Angaur Terrace
LL′.Water level (Sea level)

一般に隆起裾礁はその新期のものほど礁原上に、棲息せる当時の姿のままの直立せる造礁珊瑚を見るが古期のものに至っては造礁珊瑚の不規則の集合である場合が多い。又現在の裾礁の外縁帯に於て造礁珊瑚の発育が旺盛であるがその礁原の大部分に於ては発育不良であることは前述した處であるが、新期の隆起裾礁にあっては全くこれと同様の姿を見ることができるが古期の隆起裾礁にあってはこの点不鮮明である。新期の隆起裾礁は規模に於て現水準面裾礁と略同様であるが古期のものほど規模が大である。この点前述の各種隆起珊瑚礁が一般に現水準面珊瑚礁に比し規模が小であるのと大いに趣を異にしている處である。

以上の如く新期隆起裾礁は何れの点からするも現水準面裾礁と類似の性質を保存するが古期隆起裾礁は多少の相異を認めざるを得ない。しかし現水準面裾礁の礁原下の内部構造が未だ明瞭にされていない今日に於てかくの如き相異を以って堆積当時の環境の相異と断ずるのは妥当でない。

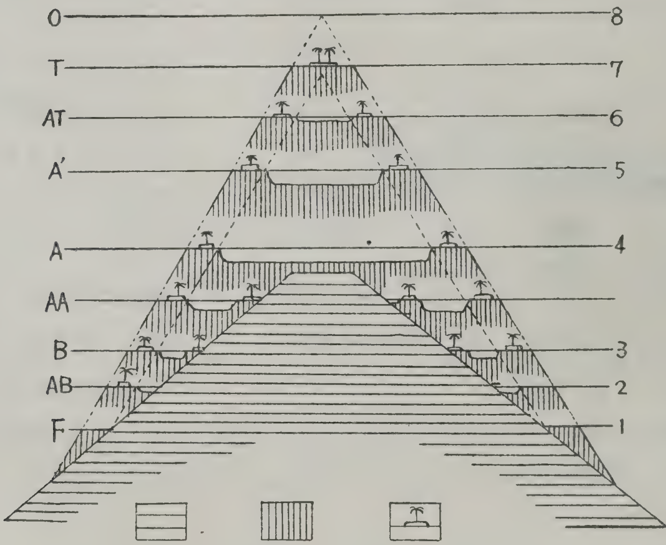
17. 堆珊瑚礁について

以上記載の隆起珊瑚礁を通覧してわれわれの知る處は礁石灰岩の薄い薄層型の隆起珊瑚礁と礁石灰岩の50m（造礁珊瑚の発育限度の水深）を越えるほどの厚さの厚層型の隆起珊瑚礁の 2 種が存在することである。前者に属するものは全隆起裾礁、サイパン・ロタ・テニアンの隆起卓礁、ロタの隆起準堡礁、アギーグアンの隆起準卓礁はこれであり、後者にはグァム・フハエス・オーシャンの隆起卓礁、アンガウルの隆起環礁と隆起堡礁、グァムの隆起準堡礁と隆起環礁、パラオ・ヤップの隆起堡礁が属す。

第 130 図　(Fig. 130)

ダーウィン説による珊瑚礁の断面

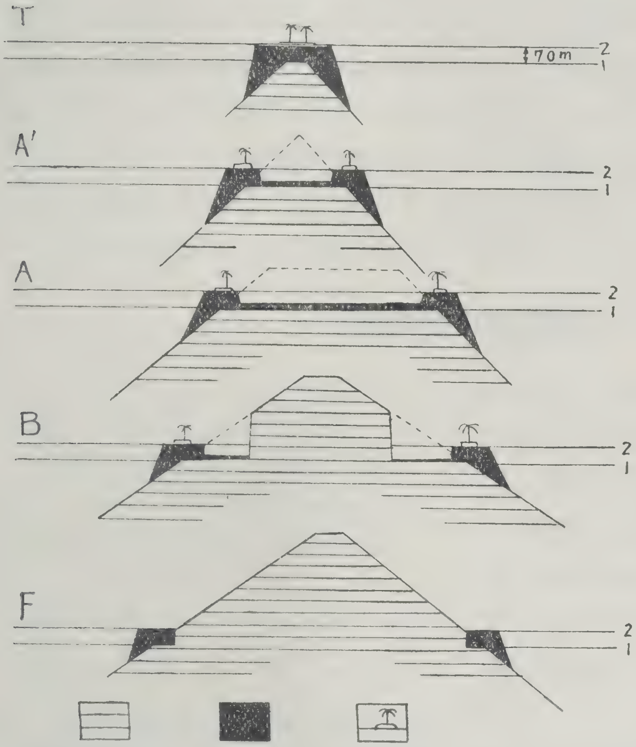
Ideal profile of coral reef by Darwin's Theory



F. Fringing reef　AB. Almost barrier reef
B. Barrier reef　AA. Almost atoll　A. Large atoll
A′. Small atoll　AT. Almost table reef
T. Table reef　O. Extinguish reef　1～8 Sea level

薄層型中の隆起裾礁は問題外としてその他のものは皆沈降地形の無い南部マリアナ群島に局限されているに対し、厚層型のものは殆んど全部が地形学上沈降地帯を為す處の東部群島と隆起地帯ではあるが沈降地形も発達している處の数島（グァム•ヤップ•パラオ）に限られていることは注意すべきで、珊瑚礁石灰岩発達の上に地盤運動の関与していることが明である。厚層型の隆起珊瑚礁の形成にあたってはたとえ、その地帯が隆起地帯であってもその形成当時には沈降の時代で地盤の沈降に従って造礁珊瑚の上方生長を来たし、次の隆起時代に急激なる地盤

第131図 (Fig. 131)
デーリー説による珊瑚礁の断面
Ideal profile of coral reef by Daly's Theory
(Bank reef)



Foundation　Coral reef　Coral islet (Cay)

T. Table reef　A′. Small atoll　A. Large atoll
B. Barrier reef　F. Fringing reef
1. Sea level of glacial age
2. Sea level of post-glacial age

の上昇となり、ここに厚い礁石灰岩の出現を見たと解すべきである。礁石灰岩の厚薄の差は隆起後の侵蝕の差と見るよりも形成当時の沈降量の大小と見るのが妥当である事は上述の地理的分布から推して直ちに首肯される事である。今、同一時代の形成にかかる隆起珊瑚礁の礁石灰岩の厚さを通覧するにマリアナ—パラオ石灰岩時代のものについては最厚は大体サイパンにて20m、テニアンにて30m、アギーグアンにて50m、ロタにて60m、グァムにて200m、ヤップにて10＋m、パラオにて300m、アンガウルにて45＋mである。かくの如く厚さを島によって異にするのは海面の一齊変化によって解釈されるべきで無く、各島に於ける地盤運動の相異を承認しなければ解釈されない事実である。

次にDarwin理論によれば原則として礁石灰岩の厚さは裾礁が最薄であり、堡礁から環礁に厚さを増大して行くべきであり、卓礁に於て最厚に達する筈である(第130図)。然るに事実に徴するに前記薄層型に数個の卓礁あり、ここに一見矛盾を感ずるのである。しかし既にDavisが珊瑚海の縁辺帯に薄層の堡礁・環礁のあり得る事を指摘しこれに堆堡礁(Bank barrier reef)・堆環礁(Bank atoll)の名を与え、厚層の正規堡礁・正規環礁から区別しているがこれと同様に堆卓礁(Bank table reef)もあって然るべきである(第131図T)。前記薄層型の隆起卓礁はかくの如き性質を有する珊瑚礁と見れば何等不思議は無いのである。事実現在のサ

ップライ沈没珊瑚礁に見る如く、これが隆起し海面上に高く現出すれば薄層型の隆起卓礁になることは疑うことができないのである。即ち卓礁には堡礁・環礁と同様に形態学的に1種でも成因的に2種存在することが了解されよう。

隆起地帯には堆卓礁が多く、沈降地帯には正規卓礁の多いのは事実が示す如く、又理論的にも考え得られることである。即ち今隆起・沈降の両地帯に同数の島があったとする。然る時隆起地帯では隆起裾礁を階段的に形成して行き、沈降地帯では裾礁から堡礁・環礁を経て数個の正規卓礁が現出する筈である（第130図）。又今度は同数の海峰が両地帯にあったとする。然る時隆起地帯ではこれが50mの深さに到達したときその頂に珊瑚礁が着生し、若しその頂が平坦で広ければ堆環礁となり、狭ければ堆卓礁が出現する（第131図）。これに反し沈降地帯では珊瑚の着生の機会がなく、海峰そのままの形で海面下深く沈下してしまうことであろう。

D　珊瑚礁の諸問題

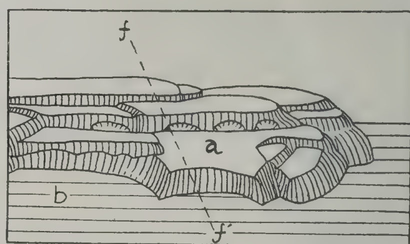
1.　階段有緣池について

現水準面珊瑚礁特に裾礁に於て問題になるのは階段狀有緣池（Rimmed pool）の問題であろう。山地の階段式水田を思わせる地形であり、礁原上に存在し段丘狀を呈し、各段の外緣は高く内部に海水をたたえ淺い池を形成しているのである。これに関し観察し得られる事実は次の如きものである（第132図）。

第132図　(Fig. 132)

グァム島イナラハン海岸の有緣池

Sketch of rimmed pool on the coast of Inarajan, Guam I.



a. Pool　b. Reef-flat

ff'. Section line

（1）　階段有緣池は海崖下に発達する狭い裾礁の礁原上に最も多く形成されている。

（2）　礁原の内帯の部分より、むしろ外帯の部分に発達している。

（3）　階段的ではあるが連続性を欠き、かつ内外必ずしも対称的では無い。

（4）　各階段の高さは数センチメートルより数十センチメートルの間にあり、2・3段が合した時に於てのみ1mを越える。

（5）　礁池の深さは大体10—20cm位のものであり、筆者が測定し得た最深は1mであった。

（6）　礁池底は平坦であるが局部的に急激に深くなっている處がある。

（7）　礁池底には海藻（特に石灰藻）以外に殆んど目に見えるような生物無く、稀に造礁珊瑚を見る。

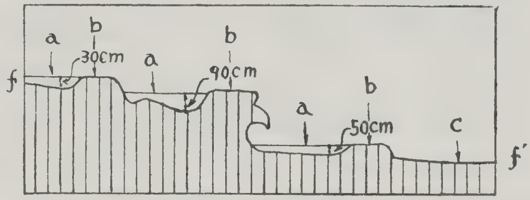
（8）　有緣池の最高段面は高潮面上にあり、新期隆起珊瑚礁の上面と一致している場合があ

る。しかしこの場合もしぶきを被り、その表面は常に海水に被覆されている。

（9）　階段間の小崖は垂直であるのを原則とするが懸崖を為している場合がある(第133図)。

（10）　蕈状岩を礁池の一部に見る場合がある。この蕈状岩は珊瑚石灰岩の時あり、石灰藻石灰岩の時がある。

第133図　(Fig. 133)
グァム島イナラハン海岸の有縁池の断面
Profile of rimmed pool on the coast of Inarajan, Guam Island



a. Pool　　b. Rim　　c. Reef-flat

（11）　有縁池の外縁を作る石灰岩と礁池底を作る石灰岩とが全く同一である場合と異なる場合とがある。前者が高位段に多く特に高潮時にも海面上に現出しているようなものに多い。後者は低位段特に外縁が懸崖をなしているようなものに多い。

（12）　高潮時にも海面上に現出している有縁池にあっては海藻はその外縁部にのみ着生し、礁池底には殆んど無く唯線状に数條着生するのを見る。

（13）　有縁池は突角地、激浪の砕ける處に最も発育良好であり、波の静かな湾入部には全く存在しない。

（14）　溫泉等に於ける石灰華段丘に構造と形態とが類似する。

有縁池の成因に関しては Ph. H. Kuenen(26) は Erb. Cosiijin, Umbgrove の說をとり入れ、外縁は現生生物（主として石灰藻）により形成されるものであるとなしている。石灰藻により被覆された面が干潮面まで上昇すると皮殼を為す處の石灰藻は死滅し、ここに於て直ちに侵蝕が働き、本来の高さまで低下せしめられる。しかし常に湿潤に保たれる場處に於ては特別の生育を為し縁を長く保持するが、湿潤不十分な處では死滅し池底の拡大を来す。尙外縁の部分が高く残る事に就いてはこの部分を構成する石灰藻石灰岩（Lithothamnion limestone）の白雲石（Dolomite）含有量の大である事も関係していると称している。筆者は未だ外縁を構成する石灰岩と礁池底を構成する石灰岩の化学的研究を為しておらず、この点論ずる資格を有しないがその他の点については前記の資料から Kuenen と全く同様の考えを抱くものである。

礁池が干出の時の雨水の溶蝕作用によってできるとなす說に対し、Kuenenは(1)雨水の溶蝕によってできたものとするならば同様なものが何處の礁原上にも見る筈である。(2)溶蝕によるならば底面は不規則でなければならない。しかし事実は平坦であるとの二つの理由から反対している。筆者は高位礁池に限りその深度の増大の一つの因子として雨水の溶蝕を認めたいと思う。高位礁池は外縁部にのみ石灰藻の着生を見ていることは前述した處であるが、今、スコールの時を考えるならば雨水の溶蝕を受ける處は礁池底であり外縁部は石灰藻の被覆のため、

これを免れることであろう。礁池底でも石灰岩の裂罅を埋めたラテライト式の褐色岩は溶蝕をうけず、細脈状に高く残っていること、礁池底が平滑で無いことはこれを裏書するものである。

2. 縁溝並びに石灰藻嶺について

縁溝（Marginal furrow）は裾礁から卓礁に至るまで存在する。縁溝の先端はその殆んど大部分は礁原の外帯にある。堡礁・準環礁・環礁の外礁の外帯は漂礫帯（Boulder zone）と石灰藻帯（Nullipore zone）とに分れ、前者は平坦、後者は海方に向って5°前後の傾斜を持つことは前述した處であるが、縁溝はその殆んど大部分がこの石灰藻帯に発源しているのである。唯少数のものが漂礫帯に発源し、又極めて少数のものが内帯にその発端がある。縁溝の先端が石灰藻のために段々と埋積されて狭長の礁池と化し更に甌穴状となり遂に消滅して行く状態は到る處に於て観察される處である（第71図）。

礁原内帯には汀線に直角な方向に無数の水溝が発達している處のあることは環礁の處で記述した處であるがこの水溝と縁溝とは全く無関係にある。直接の連絡は遂に発見し得なかった。

縁溝の成因については二つの考えがある。その1は侵蝕形と見るものであり、その2は堆積形と見るものである。この縁溝が溺谷で無いことはその数の余りに多いことから推断される。又下げ波による侵蝕の結果とも見ることができるが水面下相当に深い處にまで達している事実から推して否定される。縁溝の側壁を見るにそこには石灰藻の旺盛なる発育あり、又珊瑚の附着を見る。他方ファエスの例（第71図）に見る如く明に埋積の過程が目撃され、又珊瑚小島間の多くの外礁の礁湖岸の礁に於て見ることであるが礁が海岸に直角に突堤状に発育し、その突堤状礁即ち縁脚の間には水溝が形成され、その水溝の発端部（海岸に近い方）に於ては水溝が上面から閉塞され處々に潮吹穴を生じているのがよく目撃される。これらの事実は縁溝は明に堆積形であり、珊瑚並びに石灰藻の列状発達の結果として形成されるものと解釈すべきものである。

島嶼がありその海岸處々に造礁珊瑚が着生し、エプロン礁を生じこれが側方に発育し両者の間にはその結果として水溝を生ずるに至る。これがそもそもの縁溝の発端となるものであると思考される。縁溝が一度生ずればここを通って海水は流動する故にこの部に侵蝕の働くことは想像されることである。しかし他方珊瑚の食餌となるプランクトンもここを多く通過するが故に珊瑚の発育の好適地となることも想像される。しかしこれが上昇し干潮時に干出する様な事情におかれるようになればこの状態が変化し、石灰藻の旺盛なる発育を見るのみとなるであろう。要するに縁溝が一度生ずれば中々埋積されないものの如く、位置は変るもその形態は相当に長く保有しているもののようである。しかし終局に於ては埋まるものであろう。

石灰藻嶺（Nullipore or Lithothamnion ridge）はエプロン礁を除く各珊瑚礁の外礁の礁原外帯斜面に存在する。特に環礁・準環礁に於てその発達が著しい。その標式的に発達する

處に於ては断面形は三角形に近く、しかして連続的でありかつ高さも大であり1m近くに達する。普通は30—60cmであり縁溝に横断され、断片的である。裾礁の石灰藻嶺にあっては低い階段有縁池（但し、この場合は面上に礁池が無い）の形態をとる場合がある（グァム・サイパンにこの例多し）。又石灰藻嶺は1列で無く、2列になっている場合がある（フ〃エスにこの例あり）（第70図）。石灰藻を構成するものは生育しつつある石灰藻のみであり、表面は赤紫色を呈し、内部は白色、多くの穿孔動物の孔を見る。Umbgroveによればこの石灰藻石灰岩は白雲石含有量に於て礁原を構成する珊瑚石灰岩より大であると。筆者は未だこの方面にまで研究を進めていない。

石灰藻嶺の成因に就いては十分研究していないが成因を暗示するものとして次の事実を擧げることができる。

(1) 石灰藻嶺には地域性がある。例えばマーシャル群島に於て発達良好であり、東カロリンより西カロリンへと西するに従ってその発達が不良となる。又Kuenenの報告[26]によれば旧蘭領東印度方面に於ては殆んど発達していないと言う事実がある。

(2) 石灰藻嶺の位置は碎波線上にある。この上に於ては珊瑚の発育は貧弱であり、石灰藻のみが発育旺盛である。但し、碎波線を横断して存在する縁溝の内面に於て珊瑚の発育の見られることは前述した處である。

(3) 隆起珊瑚島岸の裾礁に於ては石灰藻嶺は2列となり、又幅の広い階段有縁池の形態をとっている處がある。

(4) ウルシ環礁に於て始めて飛行機上から観察された事実であるが外礁の外縁に沿うて狭長の礁池が存在する。これは石灰藻嶺の極端なる発達により外礁外帯の平面部と石灰藻嶺とが大部分合着して平坦化し、未合着部分のみが外帯斜面部に狭長の浅い水溜りとして平坦なる礁原中に残留したものと解釈される（第134図）。

以上の事実から推して石灰藻嶺は氣候的・海洋学的条件に支配されていることは了解され（Kuenenは季節風の無いことを以って旧蘭領東印度諸島に石灰藻嶺の無い理由と為している）、又地盤の運動にも関係していることが了解される。しかし根本は碎波線の處が石灰藻類の最も生活条件に適していることに起源していることであろう。

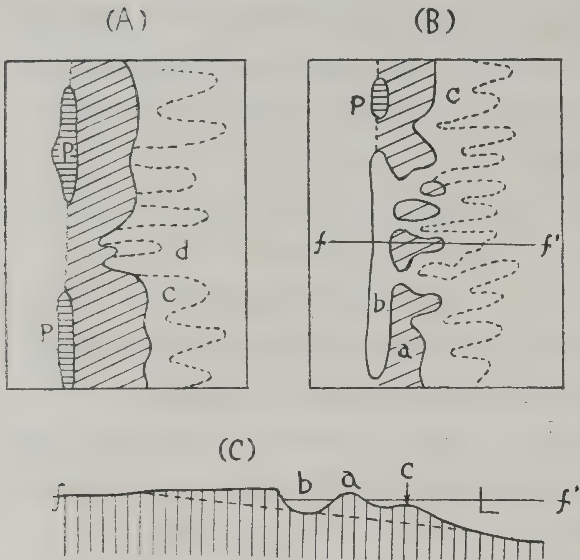
3. 蕈状岩と "Negro head" について

蕈状岩（Mushroom rock）はエプロン礁を除く全珊瑚礁に見られ、かつ極めて少数の例を除いては石灰岩である。しかしてこの石灰岩は唯1種の造礁珊瑚から成る場合と多くの珊瑚から成る場合とがある。前者は *Porites* 最も多く *Favites*・*Heliopora*・*Meandra* これに次ぎ他の珊瑚は極めて少ない。蕈状岩は裾礁から卓礁まで各種の珊瑚礁に発達しているに拘らず同一構造と同一形態を有し、しかも一様の高度（2m前後）を示しているのである。普通蕈状岩の柱状部のノッチは1段であるが、南部マリアナとトラックに於ては2段となっているものが

第 134 図　(Fig. 134)

ウルシ環礁の礁縁の平面形と断面

Profile and plan of the reef margin of Ulithi Atoll



a. Nullipore ridge　　b. Embryo of pool

c. Submarine reef margin spur

d. Marginal furrow　　p. Pool

L. Low tide level　　ff'. Section line

ある（第81図）。頭状部の表面は毬栗状で多くは裸出しているが樹林又は草のこの上を被うている場合がある。

蕈状岩は侵蝕形態であることは疑問の余地の無い處であるが、唯礁原外帯上に存在するものに多少の疑問が存する。それは蕈状岩の基部に割目があり、礁原の上に載っているかの如き形態をとっている場合の相当に多いことである。即ちこれらは礁原に打ちあげられた巨大なる珊瑚塊又は礁縁を構成する石灰岩の一部分即ちいわゆる "Negro head or Nigger head" が長い間同一地点にとどまり、ここに於てノッチが刻まれたものとして解釈の道がある。しかし波力の強い外礁外帯上に長く同一位置を保つことが可能かの疑問が湧く。筆者は矢張り、割目は蕈状岩の基部に後になって波の衝激によりできたものと解釈している。

次に内帯の蕈状岩に就いて観察するに、特にトラック・クサイの海岸に於て明瞭に観察されることであるが汀礫岩中の珊瑚の巨塊が蕈状岩となっていることである。従って珊瑚塊が汀礫岩の侵蝕面上に顔を出し始めた處から完全なる蕈状岩に至るまでの各過程のものが存在する。蕈状岩が転倒して新たにノッチをその基部に刻み第2次の蕈状岩が出現しようとしている例も相当に多く存在する。

4. 現成石灰岩について

現成石灰岩(Recent limestone)は前述の如く汀砂岩（Beach sandstone）と汀礫岩（Beach conglomerate）の総称であり、裾礁より卓礁に至るまでの各珊瑚礁に発達している。Kuenen[26] は珊瑚小島に発達する石灰岩を Beach sandstone・Beach conglomerate・Cay sandstone の3種に区別し、前2者は高低両汀線間に発達し、後者は珊瑚小島即ち洲島 (Cay)

内部に発達しているものであるとしその成因に関して多くの先学の説を引用し結論として、Cay sandstone の方は淡水による膠結の結果であるとなし、 Beach sandstone と Beach conglomerate の方は必らずしも淡水は必要なる要素でないとしている。

第 135 図 (Fig. 135)
ローソップ環礁の汀砂岩、陸方に傾斜す
Beach sandstone of Losap Atoll
Dipping landward



筆者は無数の珊瑚小島を観察し、そこに発達する石灰岩については特に細心の注意を拂ったものであり資料は豊富にあるが、これを全部あげることは不可能であり又その必要もないのである。以下観察し得た要点のみを列擧し最後に所見を述べて見たいと思う。

第 136 図 (Fig. 136)
ウジラン環礁の汀砂岩
Beach sandstone of Ujelang Atoll



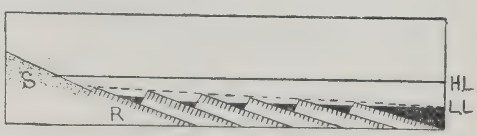
a. Upper bed dipping landward
b. Lower bed dipping seaward
c. Reef-flat

(1) 珊瑚小島の汀砂岩は主として礁湖岸、外洋岸でも波の靜かな處の砂浜下に発達し、汀礫岩は外洋岸特に背後に漂礫嶺（Boulder ridge）の発達しているような處の礫浜下に主として発達している。

(2) 珊瑚小島の汀砂岩は有孔虫砂を主とし、汀礫岩は珊瑚礫を主とする。共に殆んど石灰質物より成り、他の夾雑物は無く、この点より両者共に完全なる石灰岩であり、前者を有孔虫石灰岩（Foraminifera limestone)、後者を珊瑚礫岩（Coral conglomerate）と称し得る。

(3) 汀砂岩・汀礫岩共に成層狀態鮮明であり、特に前者に於いて著しい。多くの場合海方に向って 5—10°の傾斜を示し、汀浜の斜面と一致している。しかし水平の場合あり又少数の例（ローソップ・ナーリキリック・エニワトク等）ではあるが陸方に向って傾斜を示す場合がある（第135図）。

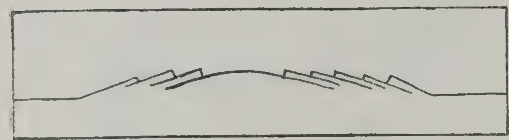
第 137 図 (Fig. 137)
現成石灰岩の徵ケスタ地形
Minor cuesta on recent limestone



R. Recent limestone S. Beach sandstone
HL. High tide level LL Low tide level

第 138 図　　(Fig. 138)

ウォッチェ環礁の汀砂岩、背斜構造をつくる
Beach sandstone of Wotje Atoll
Forming an anticline



(4)　汀砂岩の方には偽層の発達を見る（第136図）。

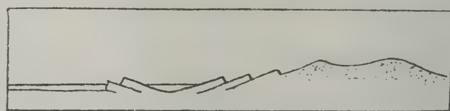
(5)　走向は汀線と一致する場合が最も多く、斜交する場合、時に直交する場合さえある。従って島が小なる場合にはドームの構造をとる。

(6)　汀礫岩・汀砂岩上には小規模のラピエの地形があり、小甌穴、傾斜の方向に配列する小溝等の微細なる侵蝕形態が存在する。特に砂岩の方にこの微地形の発達が著しい。

(7)　汀砂岩・汀礫岩が傾斜層である場合には小規模のケスタの地形を現出している（第137図)。ケスタの最外側の数列は礁原上に防波堤状に存在する場合がある。

第 139 図　　(Fig. 139)

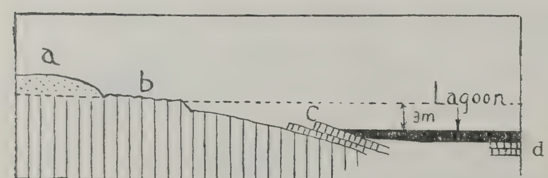
エルクップ環礁の汀砂岩
向斜構造をつくる
Beach sandstone of Erikub Atoll
Forming a syncline



(8)　珊瑚小島を構成している砂礫が吹き飛ばされてその下の基盤を裸出せしめている場合も時々見得られるのであるが、かくの如き處で観察するに3種の形態をとる。その1はウォッチェ環礁のケチャウツ(Kechautsu) 島の例に見る如く中央に1個の背斜軸を有する単褶曲構造を示し、切頭されている場合(第138図)。その2はエタール環礁のトアンブク（Toanbuku）島の例の如く水平層である場合。その3はエルクップ（Erikub)島の例の如く一個の向斜軸を有する場合（第139図）である。

第 140 図　　(Fig. 140)

ロタ島西海岸の断面
Section of west coast of Rota Island



a.　Beach deposits
b.　Mirikattan Limestone
c.　Beach sandstone
d.　Beach s. s. on lagoon bottom

(9)　裾礁及び準堡礁•堡礁•準環礁の内礁上に発達する汀砂岩・汀礫岩中には石灰質物の外に安山岩礫・玄武岩礫等の非石灰質物を可成り多量に含有している。又

トラック準環礁の離礁上の汀礫岩中に玄武岩礫が可成り多く発見された。

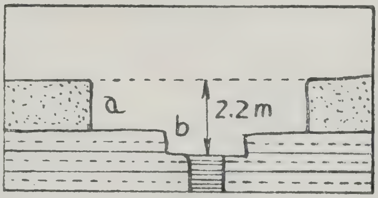
(10) 汀砂岩・汀礫岩と全く、その位置と形態とを同じうするものであるが石灰質物ならざる汀礫岩(Beach conglomerate)はヤップに、汀角礫岩(Beach breccia)はトラックにその発達が知られている。

第141図 (Fig. 141)

ローソップ環礁ローソップ島の井戸の断面

Section of well of Losap Island, Losap Atoll

Showing cay sandstone



a. Sand b. Sandstone

(11) 南部マリアナに於いてのみ見られることであるが汀砂岩の最上層には土器の破片がふくまれている。

(12) 汀砂岩が蕈状岩を囲んで発達し、又新期隆起珊瑚礁石灰岩に刻まれたノッチ、或は斜面に附着して発達している(南部マリアナ・トラックにこの好例を見る)。

(13) ロタの例ではあるが礁湖底に汀砂岩と全く同様な砂岩が発達していた。しかし水平であるか傾斜しているか判断し得ないのを残念に思う(第140図)。

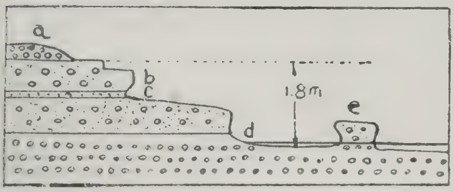
(14) 珊瑚小島内の礫岩・砂岩即ち高潮時でも全く海水の被覆を受けることの無い砂岩・礫岩即ち Kuenen のいわゆる**洲島砂岩**(Cay sandstone)(この場合礫岩をも含む)は平坦なる場合が多い(第141図)(第142図)。しかし傾斜層も相当に多く存在する(第143図)。

第142図 (Fig. 142)

エタール島の洲島砂岩

Cay sandstone of Etal Island

Etal Atoll



a. Gravel
b. Conglomerate (Phosphatic)
c. Sandstone (Phosphatic)
d. Conglomerate
e. Mushroom rock

(15) 洲島砂岩と汀砂岩・礫岩との関係は密接である。クエジェリンの例(第144図)について見るに汀砂岩の下部層がそのまま洲島砂岩に移化している。唯前者にあっては高潮時に海水の被覆を見るが後者にあっては常に陸上にあり、この上に椰子の繁茂を見る。

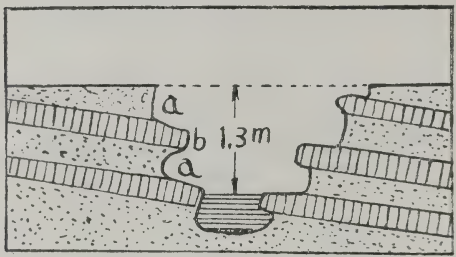
(16) 水平なる洲島砂岩と傾斜せる汀砂岩との接触関係を見ることはなかなか

第 143 図　(Fig. 143)

ウォット環礁ウォット島の井戸の断面

Profile of well of Watfio Island, Watfio Atoll

Showing cay sandstone



a. Sand　b. Sandstone

困難である。

(17) 極めて少ない例ではあるが汀砂岩中に不整合関係に於いて接する上下の2層を見る場合(第145図)がある。これは僞層と簡單に片付け得ないものがある。

(18) 砂岩・礫岩共に粒の大小により層理を示すのみならず膠結の度によって侵蝕の後に層理を示す。又極めて少数の例ではあるが洲島砂岩中に赤褐色粘土層を挾在する場合さえある（グリメスの例）（第105図）。

(19) 汀砂岩・礫岩・洲島砂岩共に硬度は表面に大であり、下位になるに從って軟く、粗鬆になる傾向がある。

(20) 洲島砂岩には燐礦化した處を見るが汀砂岩・礫岩には全く見ない。燐酸含有率の大なる表層は最も硬く下位に至るに從って含有量を減ずると共にその硬度を減じ單なる砂礫となるのである。

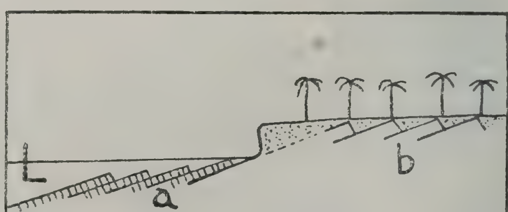
(21) 礁原内帶に珊瑚礫の堆積あり、これらの中には半固着のものがある。これらは正に汀礫岩への形成過程中にあるものと思考されるが又珊瑚石灰岩の崩壞過程中のものとも思われる。汀砂岩・汀礫岩中に非常に粗で固結十分ならず標本採集に困難を感ずるもののあることも事実である。これを形成過程か崩壞過程かその決定に惑うものである。他方汀浜を作っている砂礫中には半固着のものが無く総てが完全なる砂であり、礫である。

(22) グァム島に於いては前述の如く新期隆起珊瑚礁石灰岩の下層は水平なる珊瑚礫岩、上層は珊瑚石灰岩で（第53図）ある。しかしてこの珊瑚石灰岩

第 144 図　(Fig. 144)

クエジェリン環礁礁湖岸の断面

Profile of lagoon side of Kwajalein Atoll



a. Beach sandstone　b. Cay sandstone

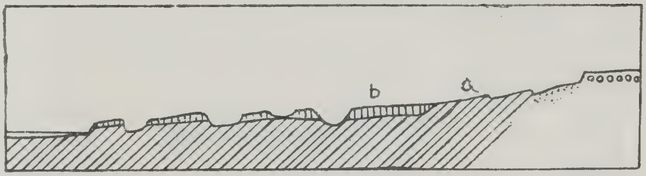
L. High tide level

第 145 図 (Fig. 145)

ウルシ環礁の現成石灰岩

Recent limestone of Ulithi Atoll

Beach sandstone overlying cay sandstone



a Lower bed-Cay sandstone b. Upper bed-Beach sandstone

のノッチ下に傾斜せる汀砂岩の堆積がある。この珊瑚礫岩は洲島砂岩（礫岩）に酷似し両者の区別は全く困難である。従って若し上層の珊瑚石灰岩が侵蝕し去られた後に汀砂岩が堆積したならば洲島砂岩上に汀砂岩が堆積したのと全く区別がつかないものになるであろう。

以上の諸事実よりわれわれは次のことが言い得るかと思う。即ち汀砂岩・礫岩は極めて新しい地質時代の産出物であり総てが石灰質物の堆積なるが故に現成石灰岩 (Recent limestone) としてこれらを総括するのは妥当である。しかし今日果して汀線上に於て旺盛に形成されつつあるかと言うと多少の疑問無しとしない。極めて近い地質時代に汀線上に於て作られたことは認めざるを得ないが今日に於ては建設的部面より破壊的部面の方が多い様に感ぜられるのはあながち筆者一人のみの感でなかろう。矢部博士[82]も同様の意見を漏らしていられる。

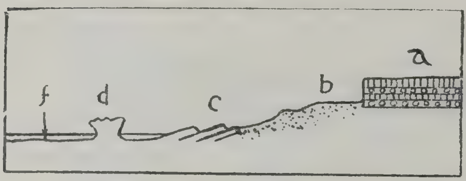
海方に向って傾斜せる砂岩・礫岩は現在の珊瑚小島と密接の関係のあるのは了解されるが、水平のもの、走向が汀線に直交するもの、陸方に傾いているものは現在の珊瑚小島とは無関係であり、後者は珊瑚小島の移動を想定することによってのみ解釈の道がある。

汀砂岩・礫岩の形成・固結作用に淡水（雨水）が重要な要素を為すことはその分布・性質の上から推理されることであり、Kuenen の淡水説に加担するものである。ただロタの例は礁湖の水面下にあり淡水の供給を考えることができない處であるがここの礁湖は狭くかつ浅く僅かに 2 m位の水深である故かつて汀線上に於て淡水の供給をうけて形成されたものがその後の僅かの沈降のため水面下に沒したものとして解釈される。

洲島砂岩と汀砂岩は密接の関係がある。多くの場合両者は一続きの地層と見らるべきものであるが一部に於ては確実に後者は前者より若い時代の産と見るべきである。これについては更に次章に於いて論ずる。筆者の指示のもとに小向良七学士[24]がトラック諸島の新期石灰岩について化学的に研究し、その結果が明にされた。この研究により新期石灰岩は白雲岩化 (Dolomitization) の程度から古期のものより (1) 葦朕岩及び礁原を作る石灰岩 (17.053 — 16.369 %)、(2) 現成石灰岩 (6.897 — 3.030%)、(3) 漂礫及び現生珊瑚 (0.533%以下) の 3 種に区別されることが明となった。この事実は上述の層位学的事実と全く一致するものであ

り、興味あり、かつ重要なる事実である。

第146図　(Fig. 146)
グリメス島海岸の断面
Profile of coast of Gaferut Island
Gaferut Table Reef
(Seaward dipping beach sandstone
and horizontal cay sandstone)



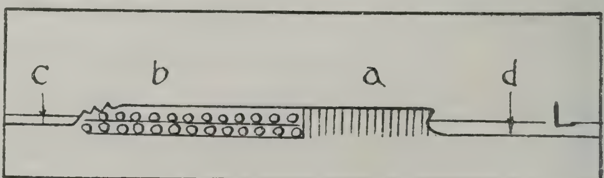
a. Cay sandstone　　b. Beach sand
c. Beach sandstone　　d. Mushroom rock
f. Reef-flat

5. 新期隆起珊瑚礁石灰岩について

新期隆起珊瑚礁石灰岩は西部地域の石灰岩島に於いては地形的に又地質的に古期隆起珊瑚礁石灰岩と区別され、又それが作る處のノッチ下に現成石灰岩の発達あり、これとの関係も鮮明である。しかし一度東部地域の珊瑚島に至ればこの関係は鮮明を欠くに至る。

東部群島の珊瑚島に見られる岩石は砂礫を除けば前述の汀砂岩・礫岩・洲島砂岩の三である。洲島砂岩はその高度大体2 m前後（グリメス島のものはやや高く5 m)(第146図）であり、その地形とその高度より西部地域の新期隆起珊瑚礁石灰岩に対比さるべきものである。唯西部地域にあっては直立せる珊瑚を可成り多く見るのであるが東部地域にあっては殆んど珊瑚の礫塊より成っているのである。しかし東部地域にも絶無でなく、ヤルートに直立珊瑚の好例がある（第88図）。グァム島にはこれらの関係を示す好露出がある。即ち Merizo Bayの準堡礁上にある珊瑚小島 Cocos I. (Dano I.) にはその外洋岸に常に海面上に現出して水平に堆積せる珊瑚礫岩(第147図)がある。これ即ち洲島砂岩(礫岩)である。しかして対岸の Merizo Bay の湾岸にはこの珊瑚礫岩と全く同一性質の珊瑚礫岩上に、直立せる珊瑚から成る珊瑚石灰岩がある。この珊瑚礫岩と珊瑚石灰岩とを合してメリゾ石灰岩 (Merizo Limestone) (新期隆起珊瑚礁石灰岩)と称したことは前述した處である。他方Cocos I.の内岸には汀線上に汀砂岩の発達あり、この下に微弱なる不整合を以って接する礫岩を見る（第148図）。砂礫の

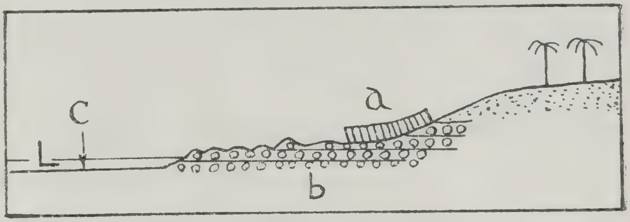
第147図　(Fig. 147)
グァム、ココス島西端の断面
Profile of the western end of Cocos I., Guam I.



a. Erect coral　　b. Coral conglomerate
c. Reef-flat on ocean side
d. Reef-flat on lagoon side
L. High tide level

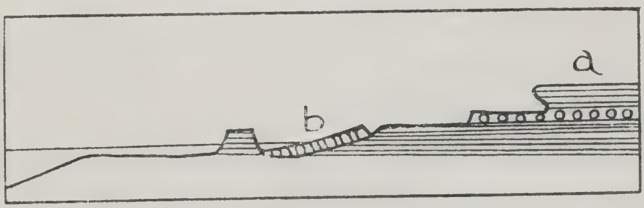
被覆あり、判然しないのであるがこの礫岩が外洋岸の珊瑚礫岩に連なるものであると思考される。前述せる如くグァム島の他の地点に於いては汀砂岩は珊瑚石灰岩のノッチ下にある故このことからCocos I. に於いても汀砂岩は珊瑚礫岩の上に不整合に来るものであることは間接に了解される。Cocos I. の珊瑚礫岩・汀砂岩は東部地域の珊瑚小島の洲島砂岩・汀砂岩にそれぞれ対比されることは総ての点から見て首肯される。要するに東部地域の洲島砂岩は新期隆起珊瑚礁石灰岩の下層を代表するものであり、汀砂岩・礫岩より古期のものであると見るのである。蕈状岩もその高度の上から新期隆起珊瑚礁石灰岩に包含されるべきものである（第149図）。唯ここに注意すべきことは蕈状岩が汀砂岩の一部と見られる事実が存在し又他方には蕈状岩を囲んでそのノッチの下底上に汀砂岩・礫岩の堆積を見る場合の存在することである。これは非常に矛盾したことであるが、しかし蕈状岩を含む汀礫岩を洲島砂岩（礫岩）と見做す時はこの矛盾は解かれる。事実蕈状岩を含む礫岩は傾斜せず水平である場合が多い。

第148図 (Fig. 148)
グァム、ココス島礁湖側の断面
Profile of lagoon side of Cocos Island, Guam
Showing contact of beach s.s. and cay s.s.



a. Sandstone (Beach sandstone)
b. Conglomerate (Cay sandstone)
c. Reef-flat on lagoon side
L. Low tide level

第149図 (Fig. 149)
ブラウン環礁礁湖側の断面
Profile of lagoon side of Brown (Eniwetok) Atoll



a. Cay sandstone-horizontal
b. Beach sandstone-dipping

以上のことからしてわれわれが今日まで現成石灰岩と称して来たものの中には一時代前の形成にかかる新期隆起珊瑚礁石灰岩の範疇に入るものの相当に多いことが了解される。唯現実に野外に於いて新期隆起珊瑚礁石灰岩に属する汀砂岩・礫岩と現成石灰岩に属する汀砂岩・礫岩との判別に苦しむ。現在の知識に於いては珊瑚小島に発達する洲島砂岩及び蕈状岩の全部、現

成石灰岩と称していたものの中の一部特に水平層、逆傾斜のものの中にはこの新期隆起珊瑚礁石灰岩に属すべきものがあると思惟する。将来化学的の研究が進めば白雲化の程度如何によって両石灰岩を区別する道も開けることであろう。現に前述の如く小向学士の研究によりその曙光が見えているのである。

6. 珊瑚島上の非石灰質物について

珊瑚島を構成するものは造礁珊瑚・有孔虫・石灰藻・軟体動物・棘皮動物・海綿・苔蘚虫等総て石灰質物であり、それ以外のものを見るのは例外的である。ただし浮石は殆んど例外無く、何れの珊瑚小島にも見ることができるがこれは論外とする。以下例外的実例を列記して見よう。

（1）トラック準環礁の離礁上には礫として又石灰岩中に挾在して玄武岩礫が相当にあり、外礁上の洲島に於いてさえ稀であるが存在する。

（2）ヤルート海岸及びクサイのウツワ海岸に石英粗面岩の礫が存在するがこれは明に難波船のバラストである。

（3）パキン環礁上に結晶片岩の転石あり、メリル卓礁に花崗岩・結晶片岩・珪岩・安山岩の転石がある。

（4）エタール環礁の石灰岩（新期隆起珊瑚礁石灰岩）中に1個の結晶片岩と2個の玄武岩礫を発見した。

（5）グリメス島の洲島砂岩（新期隆起珊瑚礁石灰岩）中に燐酸を含む赤褐色粘土層の挾在すること前述した處であるがその分析の結果は次の如きものであり珪酸と鉄礬土が他の同種の燐礦に比し著しく多いのが看取される。

SiO_2	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	P_2O_5
3.28%	47.97%	3.17%	2.50%	19.35%

（6）ミレ環礁のマラガイ島の礁湖岸の汀砂中に磁鉄鑛粒と角閃石粒とが相当に多量に入っていることが判明した。

以上の事実は人間の運搬、又は流木による運搬のみを以って解決し得ないものがある。特に最後のグリメスとミレに於ける事実は人力を以っては為し得ないことであり、かつその必要も無いことである。これらは如何に解釈されるべきものであろうか。これらの事実と関連して興味を引くものは Clipperton 準環礁である。本礁は太平洋珊瑚海の北東端にあり、直径 3.7 km、礁湖の水深は 100m を示す。Davis[(7)] の記する處によればこの準環礁の基盤たる中央島は礁湖中に無く、外礁上に1個の火山岩塊（高さ36m、直径90—120m）として存在しているのである。若しかくの如き島が40m位沈下したと仮定したならば火山岩塊の位置した直上の海岸に砂鉄の如き汀砂も見られるので無かろうか。

7. 新期隆起珊瑚礁石灰岩中の古期石灰岩礫について

かつて矢部・青木両教授[74]によりヤルート環礁ジャボール島の礁礫岩(新期隆起珊瑚礁石灰岩)中から *Lepidocyclina* の如き高等有孔虫化石を含む石灰岩の小礫が発見報告された。このことからヤルート環礁の中核に中新期石灰岩の存在が暗示され学界の注意をひいたのであった。しかし今日に於ては矢部・杉山両博士[75]により北大東島に於て発見報告された砂嚢石 (Gizzard stone) としてこの小礫を解決する道も開けている故必ずしも古期石灰岩の存在をその中核に仮定する必要も無いが筆者は依然として中核に古期石灰岩の存在を疑わないものである。その理由は後章を読むことによって明になるであろう。※

（註）ヤルートと同一群島（マーシャル）の一員であるピキンニ環礁に於てのボーリングの結果はその中核に *Lepidocyclina* を含む第三紀石灰岩の存在を明にしている。このことはヤルート環礁の中核にも同様の石灰岩の存在を暗示する。

8. 環礁の基盤の深度について

基盤の深度は環礁の中心問題であり、世人の等しく知らんと慾する處のものである。かつて松山基範教授[28]がヤルート環礁で実施された重力偏差による測定によれば基盤岩(恐らく玄武岩)と珊瑚石灰岩との接触点は海面下約500mの處であろうとのことである。これと関連して矢部博士統率の下に東北大学地質学古生物学教室により北大東島（隆起環礁）に於て実施されたボーリングの結果によれば 431.37m の深さまで全部石灰岩であり、遂に火山岩を発見し得なかったと言う事実がある。[36] このことは松山教授の場合と同様環礁の基盤は海面下相当に深い所にあることを暗示するものである。

この問題を解決するにはボーリングによるのが最も簡明直截、最適の方法であるが次善の策の一つとして環礁の外洋斜面の形態から間接に基盤の深度を判断する道もある。珊瑚礁は上方に向って発育する結果その外側斜面の傾斜は一般に急、垂直崖を為し甚しきは懸崖を作ることも可能なるが故に砕屑物が被覆する處の基盤の斜面と傾斜に於て相当の相異がある筈であり、両者の接触点に傾斜の急変を見る筈である。従ってこの急変点の深度から推して基盤の深度を想定することが可能である。筆者はかつて測深点の相当密な大東島（隆起珊瑚礁）に於てその側線を作ったことがあるがこの時側線に急変点を発見した經驗がある。惜しむらくは南洋群島の大部分の環礁はかくの如き密なる測深点を欠いている。少数例ではあるが測点の密なメレヨン・ウルシ両環礁の側線に傾斜の急変点のあることは前述した處である（第98図）。ヤルート環礁及び北大東島の例は基盤の深いことを暗示するものであるが之とは全く反対に基盤の淺いことを暗示するものにミレ環礁の例がある。

9. 礁湖について

礁湖は準堡礁から準卓礁に至るまで存在し、幾多の研究事項を残している。その一は礁湖は埋積されるものか掘鑿されるものかの問題である。筆者は今日まで南洋群島に於て観察し得た處では後者は微弱で殆んど考慮外において差支なく、これに対し前者は相当に考慮を拂うべき事

柄かと思う。朝比奈大佐[3]がトラックに於て観察された如く又われらが観察し得た次の事実から推して礁湖の堆積作用は相当に早いものがあろうと想像される。

（1）礁湖の内壁、離礁の表面及び側面に於て又礁湖底に於てさえ珊瑚並に石灰藻（特に、*Halimeda*）の発育が旺盛である。

（2）深度の小なる水道の礁湖側には小三角洲が発達する。

（3）水道の處はその内側の礁湖底より淺い場合が多く、從って礁湖底の堆積物はここで支えられ外洋に流出する量は少ないものと思考される理がある。

（4）中央島のある場合には河川により搬出され、礁湖に堆積する岩屑の量の多いことは雨後に礁湖の混濁することから知られる。

（5）クサイ島海岸の熱帯ツンドラ帯は明瞭に礁湖が埋積されたものである事を示している。

かくして礁湖は埋積の一路を辿る。他方水道は珊瑚の生長により、たとえその速度は大で無いにしても結局はその幅を狭め遂に閉塞するに至り、かくして水道の数を減じ遂に全礁環上に1個の水道も有せざるに至るであろう。かくなれば礁湖の埋積は急激に進展することであろう。実際について水道の数と礁湖の深さとの關係を見るに図表第4に示す如く水道の数の減小と共に急激にその深度を減じていることがわかる。しかしこの關係曲線から離れているものも相当に存在する。即ち水道が無いか又は1•2個であるに拘らず深度の大なるものを求めれば、ヌゴール•グリーニッチ•ナムリック•ナモールック•サトウワンがあり、水道多きに拘らず淺い礁湖を持つものにクエジェリン•ウルシ•ポウラップがある。前者は埋積速度より沈降速度の大なる礁湖であることを示し、後者は沈降速度より埋積速度の大なることを示すものであろう。

10.　環礁の幼壮老について

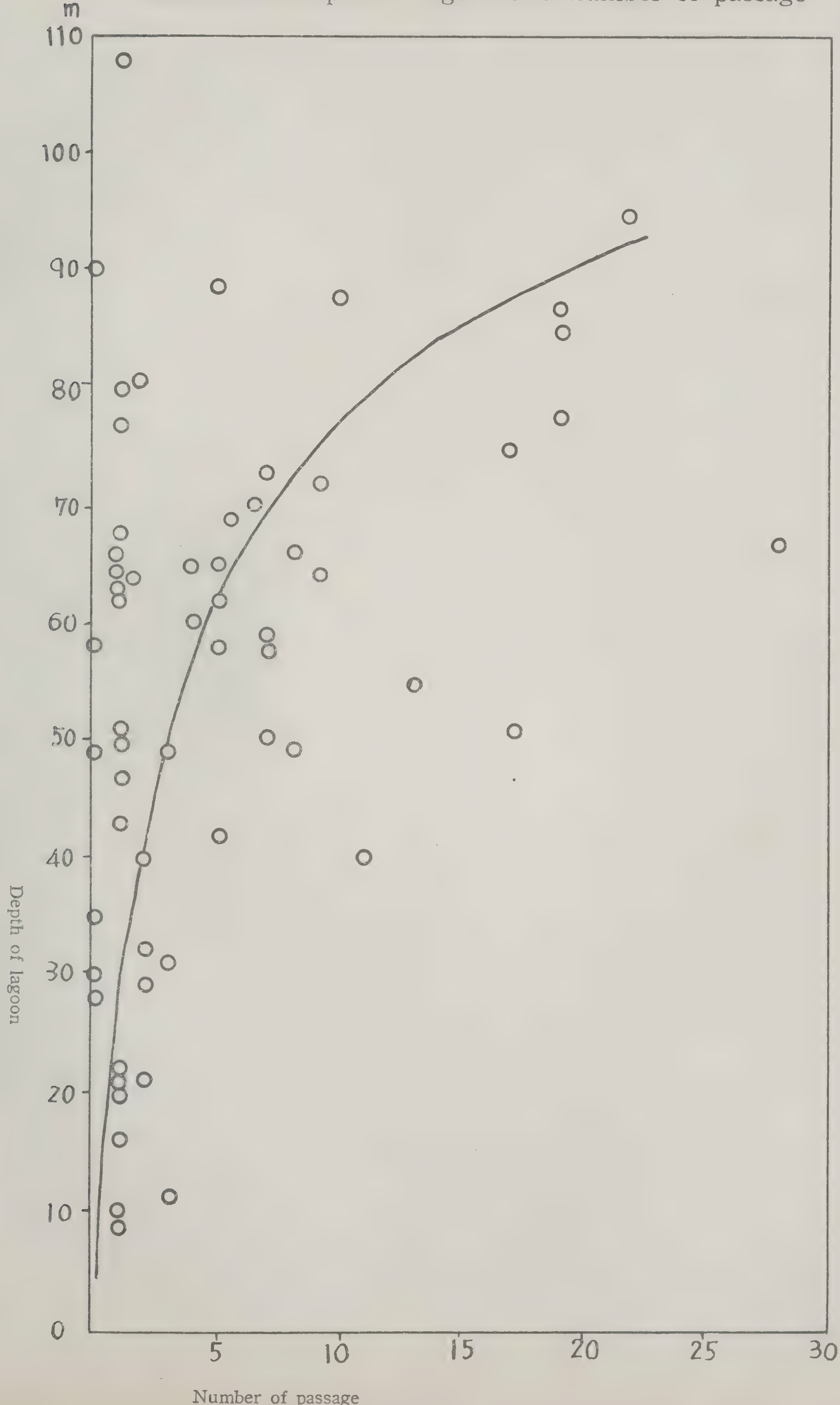
準環礁の中央島が消滅した時環礁として改めて出発する。若しこの時地盤が依然として徐々に珊瑚の生長と調和可能の範囲の速度に於て沈下したと仮定するならば礁環の長さは徐々に短縮されることであろう。何となれば珊瑚は礁の外縁に於て上方に向って成長するも波浪により破壊されるために常に珊瑚屑を以って安定角度の斜面を形成して行かなければならないからである。他方内縁に於ては波浪の破壊力は小なるが故に珊瑚の生長速度は大である筈である。從って外縁に於て退却しただけのものは内縁に於て回復し礁原は一定の幅を持続することであろう。これと同時に水道の減数と礁湖の埋積が行われる筈である。しかし礁環より運び出されて礁湖底に堆積する速度と沈降速度との關係により或る礁湖は淺くなり或る礁湖は深くなるであろう。

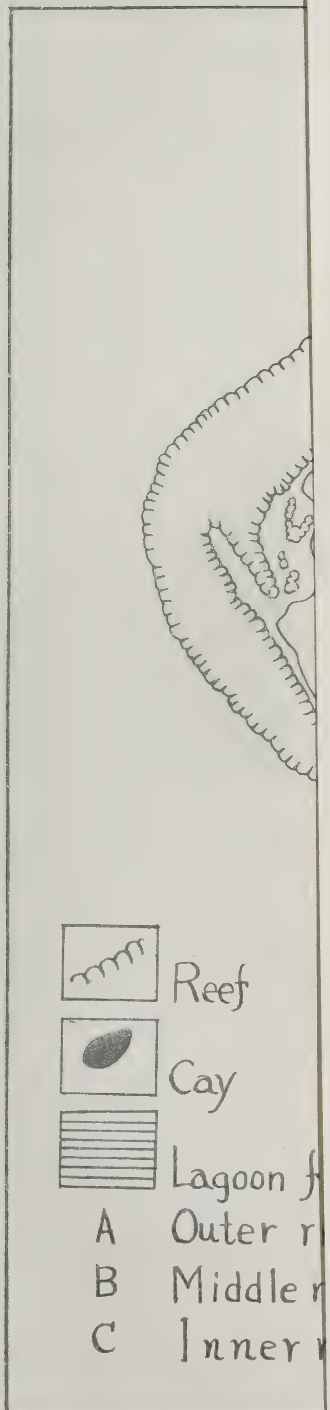
礁環が大なる間は礁湖の底面積に対する礁原の面積の比が小であるが礁湖の短縮と共に底面積に対する礁原の面積の比が大となり、從って珊瑚屑も実量に於いて小となるが比に於て大となり、他方水道の減数の因子も加って急速に礁湖の深度が減ずるものと思われる。事実図表第1に見る如く礁環の外周50km位から急激に礁湖の深度の遞減が見られる。筆者はこの50km

図表第 4　Graph 4

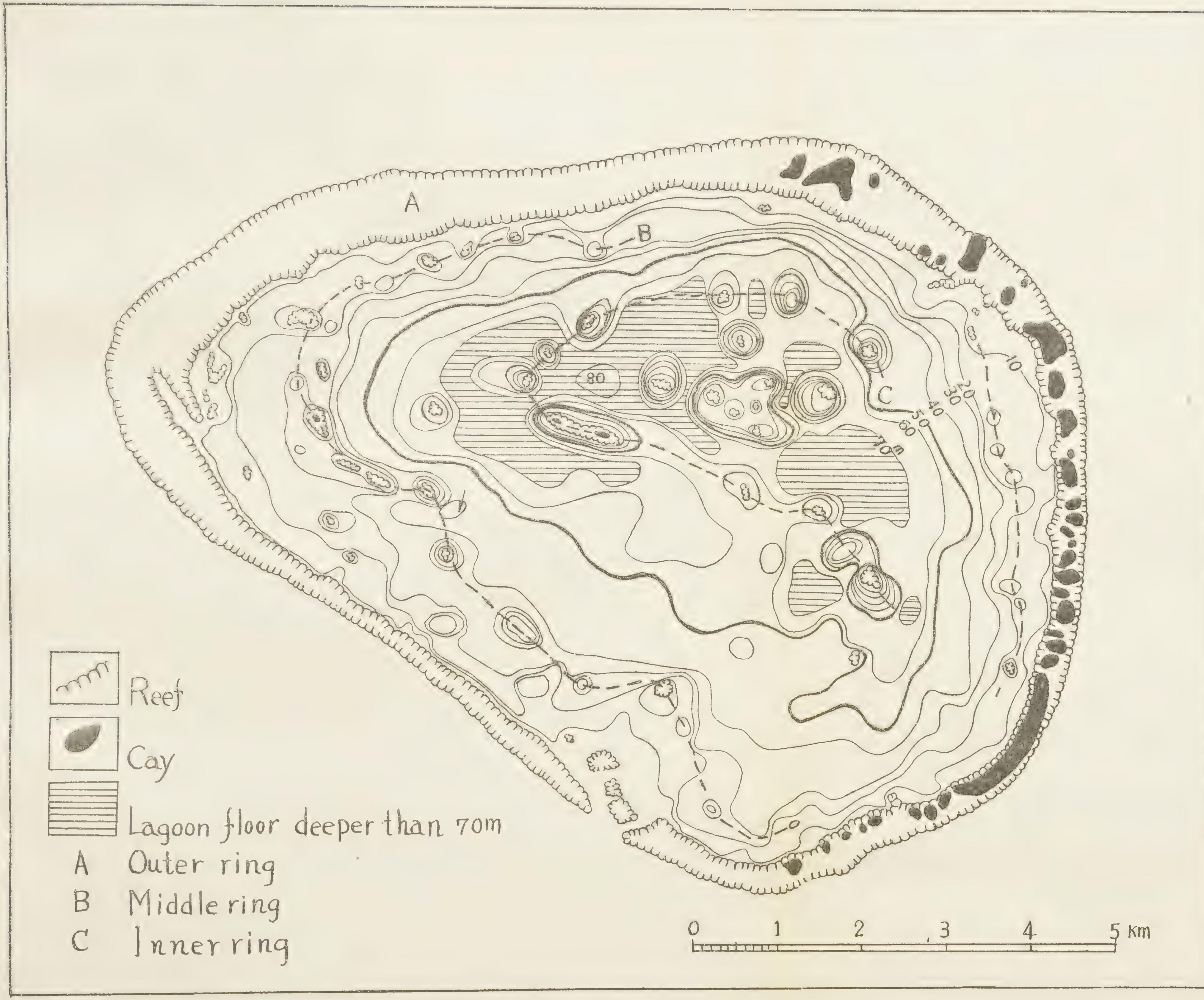
礁湖の深さと水道の数との関係

Relation of depth of lagoon and number of passage




Reef
Cay
Lagoon
A Outer
B Middle
C Inner

第151図　(Fig. 151)
グリーニッチ環礁、三重環礁を示す
Greenwich Atoll, Triple ring atoll (?)



を以って大環礁と小環礁の境界線としたのも故無きにあらずである。

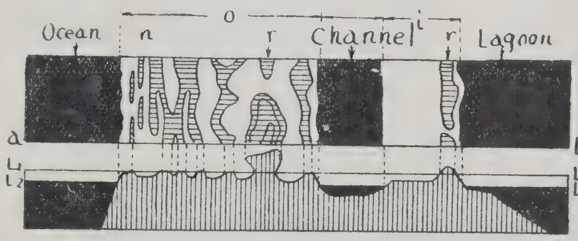
若し條件を同じと仮定するならば小環礁ほど、水道数の少ない程、礁湖の浅い程年老いたものであり、大環礁で水道数も多く礁湖の深さも70m前後のものは年若きものである。若し後者を幼年期の環礁と称するならば前者は壮年期の環礁と称することができる。尚老年期は準卓礁の域に達した時である。

若し環礁成生後に於て地盤の靜止が長期に亘って続いたと仮定するならば如何なることが期待されるであろうか。先づ第1に外礁の礁原は外方に向って極めて徐々ではあるが拡大するであろう。内側に向っては勿論拡大され、離礁と合着することになるであろう。礁湖の区域は著しく狭められ水溝の如き形をとるに至るであろう。かくの如き珊瑚礁に対し**高原礁**（Plateau reef）の名を与えた。これについては更に後章に於て論述する。

11. 二重礁環について

堡礁・環礁に於いて外礁が二重になり、いわゆる二重礁環（Double reef-ring）を呈する場合がある。前者の例は南洋群島には無いが後者の例は存在する。ヌゴールはこの好例であり、アント・ポカアック環礁も不完全ではあるが二重礁環を有す（第150図）。又グリーニッチ環礁の如きは見様によつては三重礁環を有するもののように見える（第151図）。トコベイ島の南東方、赤道に近いマピア環礁は望見したのみで踏査する機会が無かったが、オランダの海図によれば見事な二重礁環を有する環礁である事を知る（第152図）。尚隆起環礁と思惟される北大東島に於いても二重礁環の地形の見られることは既に青木教授の指摘された處である。これら二重礁環は如何にして形成されるものであろうか。

第150図　(Fig. 150)
ポカアック環礁外礁の平面形と断面
Plan and profile of outer reef of Taongi Atoll

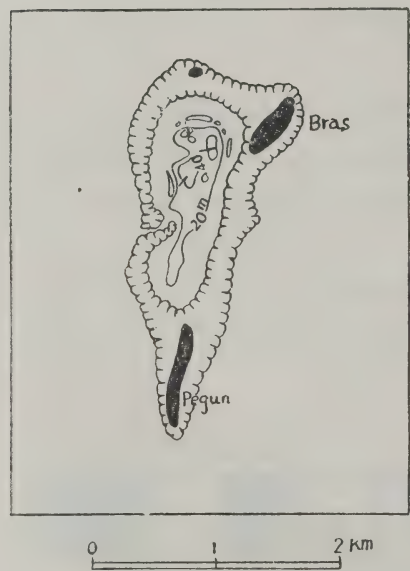


r. Exposed rock　　n. Nullipore ridge
o. Outer ring　　i. Inner ring
L_1. High tide level　　L_2. Low tide level

ヌゴールが最深の礁湖を有しているのに対し、ポカアックは最浅に近い礁湖を有し、又アントは中庸の礁湖を有している。この事実から推して二重礁環の現象は礁湖の深度とは無関係のように見える。若し相当の幅の礁原を有する環礁が急激に沈没したと仮定する。然る時には礁環の内外両側に新たに珊瑚が着生し、しかも外縁のものは発育良好であり、内縁のものは発育不良であるが故に現在の二重礁環の如き地形が現出するであろう。環礁に於いて外礁が水道の

處に於いて內方に屈曲して離礁と合着し、長い水路を構成する場合のあることは前述した處である（第97図）。この水路を挾む礁の先端が更に屈曲し、外礁內岸に並行に走らんとする傾向のあるのが一般に看取される。このことは內岸に沿うて流れる沿岸流のあることを示すものであり、この沿岸流のために內岸近くに発達していた円丘狀の離礁が汀線に並行するような方向に発育しやがてこれらが相接して內側礁環を作り、二重礁環が現出するものでは無かろうか。汀線に沿う沿岸流の起ることは一定方向から海岸に斜に吹く風を考える時に可能である。又一旦水路の內口が汀線に並行に向くようになれば上げ潮ごとに汀線に並行の流れをこの水路の近くに於いて見られ、水路を益々急速に伸長せしめることであろう。離礁が汀線から等距離に存在することは礁湖の內側斜面が等傾斜である場合に期待される。

第152図　(Fig. 152)
マピアの二重礁環環礁
Double ring atoll of Mapia



トラック準環礁に於いて二重礁環を見ることは前述した處であるがこの際は外礁は外環、內礁は內環を為し両者の間隔は著しく大である。この点環礁の二重礁環と趣を異にする。今トラックのような地盤運動を為す處に於いて中央島が円錐形を為さず低い台地を為し、しかも海岸に接して堡礁が存在していたと仮定する。もしこのような堡礁が沈下すれば外礁は外環に、內礁は內環になり、ヌゴールに見る如き二重礁環が出現するものでは無かろうか。

要するに二重礁環には地盤の運動による場合と礁湖內の沿岸流による場合とを考え得られるが未だ十分なる資料無く、確言し得ないのを遺憾とする。唯これら二重礁環を有するものは環礁中の極めて少数なる特別のものであり、從って特別の成因によるものであると思考される。

E　海面の変化と珊瑚礁

海面の変位には地盤運動の結果相対的に、その位置を変ずる場合と海面それ自身の変位即ち海水面運動（Eustatic movement）の結果によるものとの二つがある。これらと珊瑚礁との関係について以下考察を進める。

1.　珊瑚礁と地盤運動

珊瑚礁の分布狀態を見て明瞭である如く各群島に於いて珊瑚礁の性質とその発達狀態を異にしているのが見られ、特に西部群島には隆起珊瑚礁と裾礁が多く、東部群島には沈沒珊瑚礁と

環礁が多いのは著しい対照である。この事実から両群島が各独特の地盤運動を為していることが推知される。このことは珊瑚礁を除く他の地形的事実と矛盾するもので無く全く軌を一にしているものであることは前述した處である。

隆起運動即ち＋（プラス）の運動は隆起珊瑚礁の堆積面を示す處の礁段丘を観察することによってその量と性質とを知ることができる。即ちマリアナ—パラオ石灰岩堆積後の大体の隆起量は南部マリアナ群島のサイパンにて 130m、テニアンにて 170m、アギーグアンにて 180m、ロタにて 500m、グァムにて 410m、ヤップ群島のヤップにて10m、パラオ群島のウルクタープルにて 220m、アンガウルにて45m、西カロリン群島のフハエスにて25m、東カロリン群島のナウルにて70m、ラリック群島のオーシャンにて85mである。又古期隆起珊瑚礁石灰岩堆積後に於ける大体の隆起量は南部マリアナ群島のサイパンにて20m、テニアンにて25m、ロタにて40m、グァムにて35m、パラオ群島のペリリューにて 8m、アンガウルにて 8m、西カロリン群島のフハエスにて20mである。

沈降運動即ち－（マイナス）の運動は礁湖に囲繞されている中央島の溺谷を観察することによってその量と性質とを知り得る。西部群島のグァム・ヤップ・パラオ、東部群島のトラック・ポナペ・クサイの各島に著しい溺谷の発達していることは前述した處であるがこれらを見るにグァムにて20m、ヤップにて70m、パラオにて90m、ポナペにて 110m、クサイにて70mの深さまで溺谷形を明瞭に追跡することができる。これによって見るに裾礁（グァム）のものは最も淺く、準堡礁（ヤップ・クサイ）これに次ぎ堡礁（ポナペ・パラオ）のものが最深であることが明瞭である。このことから地盤の沈下と珊瑚礁の形態との間に密接の関係のあることが了解される。

尚前述の如くクサイには水深 500mにも達する低位大規模の海谷あり、北部マリアナの火山体にも同様の低位大規模の海谷を見るがこれらは果して溺谷の性質を有するものかそれ自身にも疑問あり、かつ現水準面珊瑚礁との間に直接の関係の無いものである。しかし將来他島にもかくの如き地形が発見される可能性あり一顧の必要はあるのである。現在資料の乏しきを恨む。

これら隆起・沈降の運動は單なる垂直の上下運動で無く 1海嶺を 1單元として又は 1島を 1單元として傾動（Tilting）又は曲隆（Up warping)、曲降(Down warping）の運動を為しているものであることはかつて西部群島について詳しく論じたことのある如く[(55)]、そこの段丘・谷形・溺谷・珊瑚礁の分布発達狀態から推断される。今海嶺の軸に沿う地盤運動を見るに北部マリアナにては中央部に最大隆起、南と北に低下(パガンに隆起珊瑚礁あり、南と北に沈沒礁のあることから推して）、南部マリアナに於ても同様にロタに於てマリアナ段丘が最高を示し、これが南と北に低下していることから推して中央部に最大隆起、南と北とに低下していることが知られる。ヤップにては南に隆起堡礁あり、北に沈沒卓礁（ハンター礁）が存在することから推して南より北への傾下、パラオにても同様に、南に隆起珊瑚礁あり、北に沈沒珊瑚礁があ

ることから推して南より北への傾下の運動のあることが知られる。西カロリンは西部に隆起卓礁あり、東部に沈没珊瑚礁の多い事実から推して東方への傾下、東カロリンにては反対にクサイ・ポナペ・トラックと西するに従って珊瑚礁は準堡礁・堡礁・準環礁と形態が変化し、溺谷の沈水度もこれと歩調を合して西するに従い大となっている事実、南東端に隆起珊瑚礁のある事実等から推して、西方への傾下が知られる。中央群島は北西端から南東端に向け珊瑚礁の形態が変化している事実（前述）から推して北西への傾下の運動のあることを知る。尚トコベイ・マーシャルの両群島は単なる上下運動である。

次に海嶺の横断軸に沿う地盤運動を見るに北部マリアナは西側増傾斜・東側減傾斜の運動（火山斜面の形態から推して）、南部マリアナは西側又は北側沈下、東側又は南側隆起の傾動運動（斜面形態、珊瑚礁の非対称的発達、溺谷の偏在等から推して）、パラオは西側減傾斜、東側増傾斜の運動（斜面形態と珊瑚礁の非対称的発達から推して）、ヤップが大地塁を成して東方への傾下運動（斜面形態・段丘・溺谷から推して）、トコベイは水平の上下運動、西カロリンは外縁即ち北縁に最大隆起、南に向って低下の傾動運動（北方にファエスの隆起卓礁と僅かに隆起を示すグリメス卓礁あり、南にヘレネ洲・ヤンジー洲の如き大沈没珊瑚礁を見ることから推して）、東カロリンは中央より外方へ傾下の曲隆運動（アント・トラック等中央線に沿う島の蕈状岩が他の處より高いことから、又火山岩島、隆起珊瑚礁がこの中央線に配置していることから推して）、マーシャルは中央に向って傾下の曲隆運動（礁湖の深度から推して）であるものの如く、中央群島はトコベイと同様の上下運動である如くである。

南洋の島々はヤップ・パラオに最も明瞭なる如く隆起地形と沈降地形とが同時に存在する場合が多く、このことは隆起（長期の靜止をも含む）と沈降の運動が交互に反復して起ったことを示すものである。東西両群島の地形の相異を起さしめた1因は西部群島にては隆起（＋）沈降（－）の代数和が＋であり、東部群島に於ては－であることである。

2. 珊瑚礁と海面変化

マリアナ－パラオ石灰岩及び古期隆起珊瑚礁石灰岩はファエス・ナウル・オーシャンの3島を除いては全部西部地域に局限され、かつ西部地域内でも各群島・各島に於てその分布と高度を異にしている事前述の如くであるが、これより新期の新期隆起珊瑚礁石灰岩と隆起汀堆積層とは東西両群島に共通に分布している。後者は砂丘堆積物と合する時に相当に高くなり、従って高度は島により多少相異を示す。然し前者にあっては西部群島では最低の礁段丘面を形成し、東部群島では蕈状岩又は洲島砂岩のベンチを形成している。然も之らは全群島を通じてその高度は略一定し大体礁原面（干潮面と一致する）上 2m前後の高さにある。この事実は局部的なる地盤の隆起運動よりも寧ろ全般的な海面それ自身の低下の結果と見るのが合理的である。

ロタ・グァム・グリメス・トラック・アント・ポカアックの新期隆起珊瑚礁石灰岩（蕈状岩と洲島砂岩）が他より 1m前後高いのは海面低下に加えるに地盤の隆起運動があったことを示

すものである。

環礁の礁湖の深度はほぼ一定し、70m前後の深度を保有し、他方ヤップ・クサイの準堡礁の溺谷が70mであることは偶然の結果と見るべきで無く、最近に於ける70mの海面の一様の上昇の結果と見るべきである。環礁中に70mより深いものあり、浅いものあるのは当然であり、前者は海面上昇＋地盤下降、後者は海面上昇＋礁湖底の埋積である。何堡礁の礁湖の深度、溺谷の深度が準堡礁の礁湖の深度に比し30m前後大なることとは海面上昇＋地盤下降で解釈される。

F　珊瑚礁の成因に関して

1.　現水準面珊瑚礁の現成ならざることについて

現水準面珊瑚礁（Sea level coral reef）即ち現成珊瑚礁（Recent coral reef）であると一般に見做されて来たものであるが、この現成なるものに大なる疑問を抱くものである。即ち現水準面珊瑚礁の現在の礁原は大部分が侵蝕面であることは前述の如く、その表面が舗道状であり、造礁珊瑚の切頭された跡も存し、かつ面上にはベンチ・蕈狀岩の存在する事実等より推して一点の疑を残さないのである。

珊瑚小島の外洋岸に漂礫嶺（礫堤）あり、又外側礁原の外帯に漂礫帯あり、共に珊瑚の礫塊の堆積する處であるが不思議なことに両者の間の礁原即ち中帯には殆んど珊瑚の礫塊の見当らない場合が多い。従って現在の漂礫帯の珊瑚礫塊が波浪により運搬され移動して漂礫嶺を形成したとは必ずしも言い得ないと言う事実がある。漂礫嶺前面の礁原内帯に珊瑚礫の堆積している場合は相当に多いのであるがかかる場合にはそこには珊瑚礫岩の発達が見られ、その礫岩の崩壊によって礫が生じたことを示しているのである。この事実も又礁原が堆積面で無く侵蝕面であることを示す証左となる。

以上の事実はいわゆる現成珊瑚礁と称して来たものは現在形成されつつあるもので無く、実は一時代前の新期隆起珊瑚礁石灰岩時代の珊瑚礁の名残であることを示すものである。従って矢部博士が指摘された如く現在は珊瑚礁の発達過程から見れば建設時代と言うよりは寧ろ破壊時代と見るべきである。ただし破壊の範囲は干潮面上 2m前後のものであり、従って破壊によって生じた珊瑚屑により既存の礁湖が埋積され、それがため原形が全く変化するようなことは無かったと思惟される。又一方には切頭された外礁の礁縁に新生珊瑚が着生し石灰藻の発育と相俟って礁原が外洋と礁湖に向ってその幅を増大しつつあることを認めなければならない。

2.　Darwin・Daly・Davis の説

珊瑚礁の問題は[7]Darwin の昔より今日まで多数の生物学者・地形学者・地質学者により論評され、しかしてその成因に関し多くの説が発表されたのであるが多数の人の首肯に値するものは結局は Ch. Darwin の沈降説　(Subsidence theory)[8] とR. A. Daly の氷河制約説（

Glacial-control theory)[6]とその両者の折衷説の 3 に納るもののようである。W. M. Davis の縁辺帯説 (Marginal belt theory)、Ph. H. Kuenen の氷河制約沈降説 (Glacial-control subsidence theory)[83][84] の如きはこの折衷説の代表と見るべきものであろう。Darwin, Daly の両説は今更説く必要も無いのであるが後述の事項の理解に便ならしめるためその大綱を以下に述べる。

Darwin の沈降説[8]の根本は地盤の間歇的沈降により珊瑚礁の形態の変化を説明するものであり(第130図)、基盤に着生した裾礁がその基盤の沈降につれ珊瑚はそれに歩調を合して上方に生長し常に水面近くに位置を保つ故、形態の変化を来し堡礁を経て環礁に移化するものであるとなすものである。Daly の氷河制約説[6]の方は海面の変化により珊瑚礁の問題を解決せんとするものである(第131図)。即ち氷期に珊瑚海に於て70mの減水ありこれと共に水温の低下あり、そのために珊瑚は絶滅し、その保護が無くなったが為急激に海蝕が進み、ここに海蝕台の形成を見た。次の間氷期に至って珊瑚海の海水面は旧態に復し、それと共に水温の上昇を来し珊瑚が再び発育を始め、しかも海蝕台の外縁部に着生発達をとげるが故にここに海蝕台の形態に応じて各種の珊瑚礁を生じたと為すものである。Davis の折衷説[7]は Darwin の説を認めると共に Daly の考を多少加味しているものである。即ち氷河による制約は珊瑚海の外縁帯(Marginal belt) には相当に影響があったが珊瑚海の中心部には左程の影響無く氷期中にも珊瑚海には珊瑚の発育を見たと為すものである。

南洋群島には前述の記載に明なる如くDarwin 説に有利な資料あり又 Daly 説に有利な資料あり、互に矛盾するような地形的・地質的事実も存在するのである。次に筆者が観察し得た事実より Darwin説に有利な資料を摘出して見よう。

（1） エプロン礁より卓礁に達するまでの珊瑚礁の進化過程

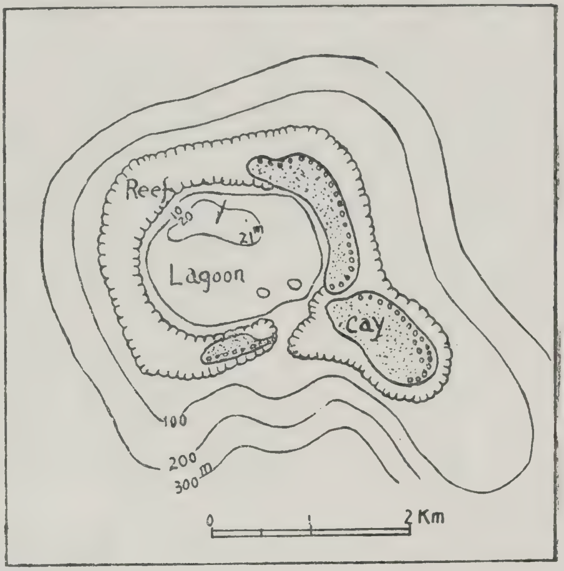
第 153 図A　(Fig. 153A)
フララップ環礁　小環礁の例
Faraulep Atoll, example of small atoll



1. Pigue Island 2. Faraulep I. 3. Eate(Yatto) I.
4. Fasubugoru (height 1.9 m)

は裾礁より環礁に進化する Darwin説を伸展することによって理論的に考えることができ、かつ事実これら一系統の珊瑚礁が南洋群島に存在する。尚中間型があり厳格に珊瑚礁を分類することは困難である（第 153 A・B・154・155図）。

第153図B　(Fig. 153B)
フルック環礁、小環礁の例
Ifalik Atoll, example of small atoll



（2）　同一海嶺上に各種の珊瑚礁が発達し、しかもこれらが系統的に配例している事実がある（パラオ群島・中央群島はこの例）。

（3）　各群島に於て珊瑚礁の分布狀態と発達の程度を異にしている。トコベイ群島は殆んど卓礁であり、マーシャル群島は殆んど環礁である如くに。即ち珊瑚礁に地域性がある。

（4）　隆起地形（隆起珊瑚礁・段丘等)、沈降地形（沈沒珊瑚礁・溺谷等）の存在は地盤運動の甚しかったことを明示している。

（5）　隆起珊瑚礁石灰岩が 150—300 m（造礁珊瑚の発育可能の限度外の深さ）以上に達しているのがある（ウルクタープル・グァムの例)。

（6）　礁湖の深さが70m (Dalyの説く氷河期に於ける珊瑚海の退水層の厚さ）を甚しく越える環礁（ヌゴール・ナムリック・オロールの例)。

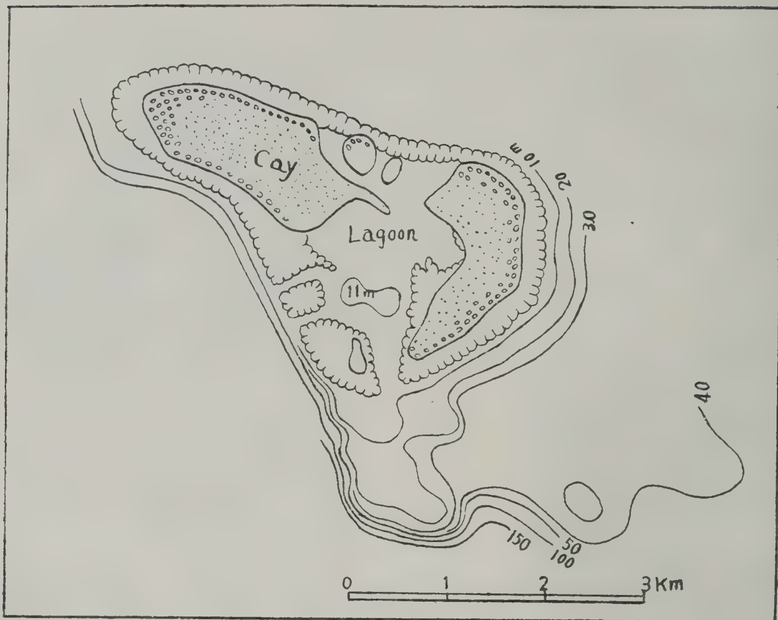
（7）　ヤルートに於ける松山教授の実験結果は環礁の基盤は海面下 500m の深處にあることを暗示している。

（8）　珊瑚礁は第三紀の初期より南洋群島にあったことを示している（Daly は珊瑚礁は第四紀の形成と見ている)。

（9）　礁周300kmにも達するような大環礁（クエジェリンはこの例）（附図第18）が存在する。一氷期の如き短期間に周囲300kmに達するような大海蝕台が形成されるであろうか。この点氷河制約說に不利である。

（10）　同一時代の形成にかかる珊瑚石灰岩（例、マリアナーパラオ石灰岩）が島によりその

第154図　(Fig. 154)
エンダービー環礁、準卓礁に近い環礁の例
Puluwat (Enderby) Atoll
Intermediate form of atoll and almost table reef



厚さを異にしている。

(11)※　ビキンニ環礁では海面下800mまで浅海性の石灰岩であり、基盤は更に深處にある。

（註）戰後　Ladd, Traceyの報告による。

次にDaly説に有利な資料を摘出して見よう。

（1）　前記水深大なる少数の環礁と、小環礁でその後に埋積されたと思考されるものを除けば大環礁の殆んど大部分はその礁湖がほぼ一定の深さを有し、大体70mであり、これより余り離れていない。この水深は氷期に於ける退水層の厚さと全く一致しているものである。

（2）　堡礁・準環礁・環礁の礁湖の深さはほぼ一様である。沈降説によれば堡礁が最淺、環礁が最深であるべきである（他の條件が等しいとした時に）。

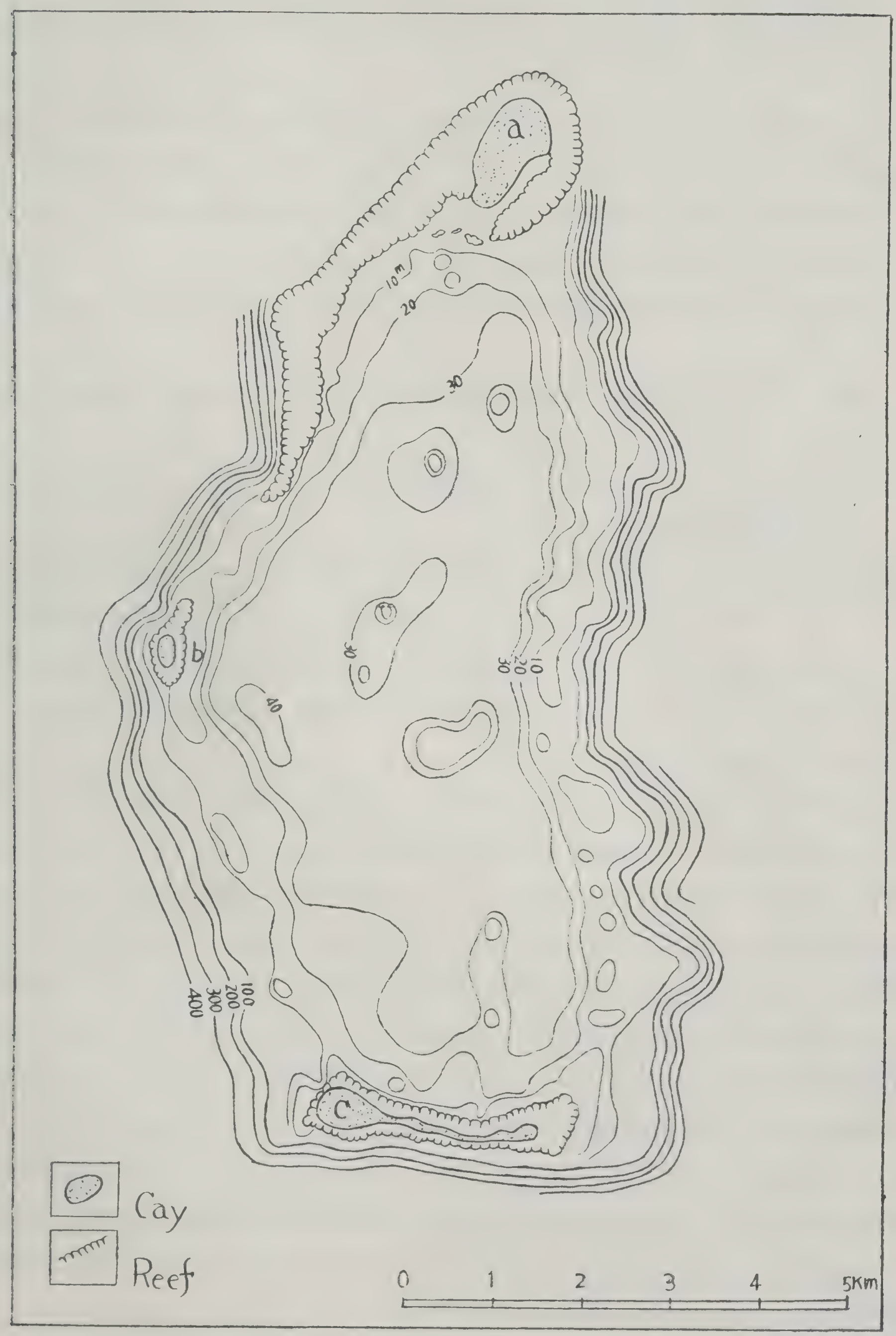
（3）　堡礁・準環礁・環礁の外礁の幅は一定し大体 500—600m の広さにある。珊瑚礁の着生が同時であれば同一時期經過後には同一の礁原の幅をとるのは首肯される。

（4）　中央島の海崖が礁湖の波の侵蝕のみにてできそうも無い位の高さ（50—100m）を有する場合が相当存在する（パラオ・トラック・ポナペの例）。

第 155 図　(Fig. 155)

ポウラップ環礁、半ば沈没した環礁

Pulap Atoll, half submerged atoll



a. Pulap I　　b. Fanadik I　　c. Tamatam I

（5）　海蝕面が相当に広く発達している處が現存する（ヤップ・パラオの例）。

（6）　ミレ環礁の砂鉄の如く、又トラック準環礁の離礁上の玄武岩礫の如く基盤が珊瑚礁の礁原下近くにあることを暗示する場所がある。

（7）　新期隆起珊瑚礁石灰岩の高さが全群島を通じてほぼ一様である。このことは海面変化の最もよい証左であることは前述した處である。このことから推してかくの如き海面変化が過去に於てもあったであろうと言うことを想像するのは妥当である。

（8）　環礁の礁湖底は著しく平坦であり、海蝕面をその下に想定するのに好都合である。

（9）　隆起準卓礁（ロタ）・隆起環礁（グァム）の底面（基盤との接触面）は著しく平坦である。明に過去の海蝕面であることを示す。

（10）　過去に於て南洋群島にも毬果植物の繁茂した時代あり、氣溫の変化のあったことを明示している。

（11）　過去（中新期）に於て南洋群島全域に亘って準平原が形成されるような長期の靜止期のあったことを示している。

以上互に矛盾するような地形的事実は如何に解釈すべきものであろうか。次章に詳說する。

3.　珊瑚礁の成因に対する私見

珊瑚礁の成因に関し筆者の結論を簡潔に申せば下の如きものである。即ち珊瑚礁の成因に関してはDarwin の沈降說が原則的のものであり、Daly 說く處の氷河による制約は珊瑚礁形成過程中の一事変に過ぎないと見るのである。要するに一種の折衷說である。しかしDavisの折衷說よりも氷河による制約を重視する点に於て異なり Kuenen の氷河制約沈降說に近い。以下少しくこれについて說明を加えたいと思う。

珊瑚礁は南洋群島の地質が示す如く第三紀の初期より今日まで断続して形成されたことは事実である。今南洋群島中の一島嶼の海岸各處に造礁珊瑚が着生し、エプロン礁を形成しこれが横に連絡して裾礁にまで発達したと仮定する。もしこの島が適当に間歇的に隆起したとすれば各時代の裾礁が段丘の形にて島の斜面に附着する筈である。この際島の中央部高位の處には古期の珊瑚礁が位置し、これより新期の珊瑚礁は順次その周下位に位置する筈である。反対にもしこの島が間歇的に沈降すればDarwin說の如く珊瑚礁はその形の変化を来たす筈であり、同時に古期の珊瑚礁は逐次水中深く沒し水面には常に新期の珊瑚礁のみが現出している筈である。西部群島は前者（隆起）の傾向を有し、東部群島は後者（沈降）の傾向を保持していると解釈さるべきものである。しかし若し大隆起の間に小沈降あったと仮定するならば隆起地帯にも準堡礁・堡礁の如き沈降地形が見られる筈である。又大沈降の間又は大沈降の後に小隆起があったと仮定するならば前者の場合には水中に沒することである故見るを得ないが後者の場合には沈降地帯にも低位の隆起珊瑚礁が見られる筈である。

第三紀の初期頃より今日までの長い珊瑚礁の一生の間には火山事変・断層事変等種々なる事

変があった筈であり Daly が想定する處の氷河の事変の如きものもあったことと信ずる。この氷河のため珊瑚海の海面が低下を来たし、海蝕は勢を逞しうし前時代に形成された珊瑚礁はその大部分が破壊し去られ原形を留めないまでになったと想像される。しかし極めて少数のもの例えば大環礁のあるものの如きは礁環は破壊されても礁湖が完全に埋積されず多少原形を保持していたものもある筈である。

間氷期に至れば氷期に形成された海蝕面は海面上昇のため水中に沒し、他方水溫上昇の結果として珊瑚が活動を開始し、この海蝕面の外縁部に着生し始め、かくて基盤たる海蝕面の形態に支配されて各種の珊瑚礁が形成された。礁湖が完全に埋積されず一部原形を保持することを得た環礁にあっては再び礁環から珊瑚の発育が開始されることになる。從って他の環礁よりこの環礁は礁湖の深度に於て大である筈である。オロール環礁の如きはかくの如き性質のものでなかろうか。恐らくこの時代に今日の珊瑚礁の骨格ができあがったものであろう。

一方地盤運動は氷期・間氷期を通じて休みなく、依然として存続するものと見られるが故に間氷期が相当に永続すれば Darwin 理論により珊瑚礁の形態の進化も行われる筈である。例えば間氷期初期に裾礁であったものが末期までの間に地盤の下降のため準堡礁に、準堡礁が堡礁に、堡礁が準環礁に、準環礁が環礁に、環礁が準卓礁に、準卓礁が卓礁に1階級づつ進み、時には條件がよければ2階級進むものもあろう。又急激の沈下の為に沈沒珊瑚礁となるものもあろう。又單に礁湖の深さを增大する程度のものもできるであろう。

最後に微弱なる第2の氷期が至ったと仮定するならば珊瑚海の海面は僅かに低下し、前時代の珊瑚礁はその上部を僅かに海面上に現して隆起珊瑚礁となる。しかし海蝕はこの部に直ちに直接に強烈に働き、露出部を破壊し去り、その跡に平坦なる海蝕面と侵蝕殘岩たる蕈状岩を殘すであろう。又礁湖も少しく淺くなることであろう。しかしこの氷期は微弱なるが故に珊瑚海の海水溫度にさしたる変化を与えず珊瑚は依然として発育旺盛であり、海蝕面の斜面、又は埋め殘された礁湖壁で発育を続けるであろう。

以上の如く想定する時は南洋群島に於ける矛盾するような地形的事実は氷解されるのであり、從って少くとも南洋群島に於ける珊瑚礁はかくの如き地形の発達過程をとったものと信じたいのである。かく考察する時、新期隆起珊瑚礁石灰岩は最後の間氷期の珊瑚礁にあたり、古期隆起珊瑚礁石灰岩はその前期の間氷期の所産であり、新期隆起珊瑚礁石灰岩の基盤を為すものである。東部群島に於ては地盤運動は－であるため古期隆起珊瑚礁石灰岩は新期隆起珊瑚礁石灰岩により完全に被覆されて水面下にある故に見えず、西部群島に於ては地盤運動が＋であるが故に古期隆起珊瑚礁石灰岩はその一部が新期隆起珊瑚礁石灰岩より上位の礁段丘として露出している。

古期隆起珊瑚礁石灰岩とマリアナ－パラオ石灰岩との間にもかくの如き事変のあったであろうことはその両者の間の地形的大不整合が雄辯に物語っている。現在は最後の微弱なる氷期に

あたるものであり、従って珊瑚礁発達過程中の破壊時代にあたるのである。

要するに筆者の考は基盤（非石灰岩）は松山教授の試験結果と同様であり、相当深かるべしとするものである。唯困難なのはミレ環礁の事実である。しかしこれは全く例外的の存在であり、その解釈は Davis(7) の Clipperton Island にて説明している如く、非常に特別な基盤形態を考うることによって解決できる。

恐らく火山岩特に玄武岩と思惟される基盤の上に古期の珊瑚礁石灰岩が堆積してこの石灰岩が又新期の珊瑚礁石灰岩の基盤を為して順次に堆積していると見るのである。しかし堆積の途中に於て水準面の変化があったがため古期の石灰岩が破壊され、礫として新期の石灰岩中に入って来る場合がある。これを何回となく繰返す中に古期の礫ほど、上位に至るに従ってその数と大さとを減じ遂に全くその痕跡さえ無くなるに至る。

現在の珊瑚島に於てヤルートを除いては未だ第三紀石灰岩を第四紀石灰岩の砂礫中に発見し得ないのはこのためである。従って珊瑚小島に古期珊瑚礁石灰岩礫の無いことはこれら珊瑚島下にかくの如き古期の石灰岩の無いとの理由にはならない。寧ろヤルート・クサイの例はこの存在を暗示している。※

（註）戦後ビキン二環礁に於いて、礁下深處(大体海面下200—300m)に第三紀石灰岩のあることが明にされた。全く予想が適中したわけであり、欣快にたえない次第である。

4. 南洋群島最近世地史

以上を要約し南洋群島に於ける第三紀末期以後の最近世地史を編んで見よう（地史概観の章より続く)。

a 第1海退時代（第1氷期）—鮮新期（Pliocene）

第三紀の末期に於て氣溫が寒冷となり造礁珊瑚の衰退を来たし、それに代って *Halimeda* の繁茂となり、陸上に於ては毬果植物の繁茂となる。湾奥には**亜炭層**を堆積し、海岸地帯には**ハリメダ石灰岩**を堆積した。海面は徐々に低下し、それと共に地盤の間歇的上昇あり、これら堆積層の一部は陸上に現出し、**古期段丘礫**を戴く處の数段の段丘も形成された。これらの地層はやがて来るべき第四紀珊瑚礁の基盤となった。

b 第1海進時代（第1間氷期）—更新期（Pleistocene）

氣溫が上昇して造礁珊瑚の旺盛なる発育となり、珊瑚礁の大建設時代が出現した。即ち西部群島では**マリアナ—パラオ石灰岩**、東部群島では**カロリン石灰岩**の堆積を見るに至った。海面は上昇し古期段丘を殆んど被覆するまでに至ったがサイパン・ヤップ・トラック・ポナペ・クサイに於てはその上位段丘は海水の被覆をまぬがれた。この海面の一般上昇に加えるに地盤の下降（水平下降又は傾下の形をとる。前者はグァム、後者はパラオ・ヤップがこの例である）あり、西部群島では珊瑚礁は裾礁から堡礁（ヤップ・パラオ）・環礁（アンガウル）へと進化し、ここに厚い珊瑚石灰岩の堆積を見るに至った。しかし西部群島でもその当時基盤が静止又

は僅かばかりの隆起を示した處、即ち南部マリアナ群島に於ては薄層の珊瑚礁即ち裾礁・堆準堡礁・堆環礁・堆準卓礁・堆卓礁の形成を見た。東部群島に於てはポナペの如き火山岩島には先づ裾礁が着生し、それが海面上昇と地盤の沈下に從って堡礁に進化し又環礁・卓礁に進化したものもあろう。又ヤルートの如く、前時代に切頭され平坦化された第三紀珊瑚礁の面上に造礁珊瑚が着生し、或は環礁、或は卓礁の形成を見たことであろう。

この時代の後半期に於て西部群島には地盤の間歇的上昇（靜止又は小沈降を挾む）あり、ここに**新期マリアナーパラオ石灰岩**から成る各種（裾礁•準堡礁•堡礁）の隆起珊瑚礁の出現を見た。北部マリアナ群島に於ては火山活動を開始する。

c　第2海退時代（第2氷期）—更新期（Pleistocene）

氣溫が再び低下しそれと同時に海面の低下を来たし珊瑚礁の破壞時代を現出した。前時代に形成された珊瑚礁の一部は破壞され海蝕台を形成するに至る。特に隆起性なる西部群島に於ては階段狀の海蝕台を見たことであろう。東部群島は沈降性なるが故に沈降速度の小なるマーシャル群島の如き處では一部前時代の珊瑚礁の表面が海面上に出現し、この部分が消磨され、小環礁であれば礁湖は埋積し、平坦なる海蝕台が形成され、大環礁なれば礁環の上部が消磨されるともその岩屑によって礁湖は全く埋積されず依然として環狀の海蝕台として殘るであろう。卓礁なれば勿論切頭され、小海蝕台として殘るであろう。又沈降速度と海面低下の速度と同一であれば水陸の相對關係は不変であり珊瑚礁は原形を保持して行ったことであろう。沈降速度が更に大なる處であればこの一般の海面低下時代にも拘らず沈沒珊瑚礁となったものもあろう。

d　第2海進時代（第2間氷期）—更新期（Pleistocene）

氣溫は再び溫暖となった。しかし第1間氷期の如くには溫暖では無く造礁珊瑚の発育もやや劣る。しかもこの期間は短かかった。前時代の海蝕面上には復水の結果として皮殼狀に**古期隆起珊瑚礁石灰岩**の堆積を見、裾礁その他の珊瑚礁が形成された。しかしこれらの珊瑚礁は何れも堆堡礁・堆環礁・堆卓礁の如き性質の薄層型のものであり期間が短かったため地盤の沈降による形態の進化は行われず正規の環礁・堡礁・卓礁は出現しなかった。東部群島に於ては前時代の切頭珊瑚礁の表面に数メートル又は数十メートルの厚さの石灰岩皮殼を附加したことに過ぎなかったことであろう。西部群島では復水は前時代に形成された階段狀海蝕台全部を被覆せずその下位のみを被覆しその面上のみに裾礁を形成したことであろう。

e　第3海退時代（第3氷期）—更新期（Pleistocene）

氣溫は三度低下し、第四紀中の最低を示したものの如くである。海面も著しく低下しその量は大体70mと推定される。珊瑚礁の大破壞時代を現出した。西部群島特に南部マリアナに於ては海面低下に加えるに地盤の間歇的の上昇があるが故に陸地の隆起速度と量とが大であり、古期隆起珊瑚礁石灰岩の礁段丘の形成を見た。東部群島に於ては海面の低下と地盤の沈降とが歩調を合せる處もあり、かかる處では広い海蝕面と高い海崖が作られたことであろう（東カロリ

ン群島の火山岩島はこの例）、又海面低下よりも地盤の沈降が小である處では相対的には隆起となり前時代の珊瑚礁は切頭され平頂海蝕台・環狀海蝕台を作ること第2海退時代と同様であるがその規模に於て更に大なるものがあったろう。又海面低下よりも地盤の沈降が大である處では相対的に沈降となり沈沒珊瑚礁が形成された。しかしこの例は少なかろう。パラオ群島の如きものにあっては地盤の運動は北方傾下の傾動であったがために南部にのみ古期隆起珊瑚礁石灰岩の海上出現あり、北部に於て広い海蝕面の発達を見たことであろう。

f　第3海進時代（第3間氷期）—現世期（Recent）

氣溫は溫暖となり熱帶圈の海水は元に復した。そのため島岸には溺谷が形成され、他方造礁珊瑚は三度旺盛なる発育を示しここに**新期隆起珊瑚礁石灰岩**の堆積を見るに至った。前時代に形成された平坦なる海蝕面上にはその形態に応じて各種の珊瑚礁を生じた。環狀の海蝕台上では礁湖の深さが70mを越える如き環礁を見た。この期間にあっても地盤の運動は勿論中止せず、西部群島の如き隆起帶に於ては海面の上昇はあっても相対的に靜止の形をとる處あり、又東部群島の如き沈降帶に於ては海面の上昇に加えるに地盤の下降あるが故に陸地の大沈下となった處がある。その結果として前者の場合にはヤップの如き広い礁原を有する準堡礁、後者の場合にはオロール・ヌゴールの如き100m前後の深い礁湖を有する環礁又は沈沒環礁（カロリンの例）を見るに至った。又地盤の下降に伴い形態の進化も行われ、たとえば裾礁から準堡礁へ、準堡礁から堡礁へと1階級の飛躍を見たものもある筈である。又形態の変化は無いが礁湖の深度を増大したものも多数ある筈である。70m以上の深さの礁湖を有するパラオ・ポナペ・アルノ等の如きはこの例である。

g　第4海退時代（第4氷期）—現世期（Recent）

最後の氷期であり、熱帶圈の水溫は僅かに低下し、海面も僅かに低下した。その量大体2m前後と推定される。既存の珊瑚礁は僅かに海面上にも現出して隆起珊瑚礁（新期隆起珊瑚礁石灰岩）を形成したが海蝕は直ちに働きその露出部は切頭され、その残骸は蕈狀岩又は最低位段丘として残り、切頭された面は舗道狀の礁原となった。しかして僅か2m前後の切頭なるが故に珊瑚礁の形態を変化するまでに至らなかった。南部マリアナの如く地盤の隆起性の大なる處では新期隆起珊瑚礁石灰岩の高さと露出面が大であり、東部群島の如く地盤の沈降性の大である處では新期隆起珊瑚礁石灰岩は蕈狀岩の形をとり、その高さはやや低い筈であり、事実その通りである。

この時代は溫度は低下しても造礁珊瑚の発育には差支え無く、礁原の外緣部には現生珊瑚の着生あり、礁原を礁湖側と外洋側に附加しつつある。他方新期隆起珊瑚礁石灰岩上又は切頭された礁原上には珊瑚の砂礫が堆積し高さ2m前後の海岸平野又は洲島（珊瑚小島）の形成となった。これが現在の姿である。

5. 氷河作用と地盤運動との関係

Daly は筆者の第3氷期及びこれに続く第3間氷期を過大視しこの時代の氷河作用によっていわゆる現成珊瑚礁（筆者の新期隆起珊瑚礁）の総てを解釈せんとしたものである。しかしながらたとえいわゆる現成珊瑚礁の解釈はできたとしてもマリアナ―パラオ石灰岩時代の珊瑚礁は地域的に異なる地盤の下降の考慮無くしては断じて解釈し得ない。地盤運動はマリアナ―パラオ石灰岩時代で止り以後靜止の狀態にあったと言う証拠は全く無く事実は寧ろその反対である。從って地盤運動がその後の珊瑚礁の発達に影響していると見るのが妥当である。いわゆる現成珊瑚礁の礁湖の深さの均一性は海面の一般降下によって解釈できるが例外的に淺い礁湖或は深い礁湖の存在するのはその處の地盤が隆起又は沈降を為した結果であると見るべきである。又注意すべきことは前記地史を一読して了解される如く、いわゆる現成珊瑚礁はその総てが第3間氷期の所産で無く、その大部分は過去の珊瑚礁の遺産を引きつぎその上に建設されたものであるということである。即ち古期の珊瑚礁の上に新期の珊瑚礁が次ぎ次ぎに重なり合ってできたものが大部分であると言うことである。

われわれが北部マリアナ群島に於て直接目撃し得る如く一群島には大小各種の島々があり、これらが若し唯1回の氷河の作用をうけたとするならば Daly の説くが如く各種の珊瑚礁が形成されることであろう。しかしこれらの珊瑚礁も地盤が適当に沈降を続けるならば環礁と卓礁のみとなる筈である。即ちマーシャル群島が殆んど環礁のみであり、トコベイ群島が殆んど卓礁である如く珊瑚礁の地域性は Daly説く如く唯1回の氷河作用だけでは解釈は困難である。又数回の氷河作用を反覆しても地盤運動を考えなければ、所詮その結果は同一であり、單に積んでは崩れる賽の河原の石塚の如く、海蝕面上に於ける珊瑚礁の建設・破壊の反覆に止ることであろう。しかしこれらの事実は地盤運動を考慮に入れる時始めて容易に解釈されるものである。西カロリンの沈沒環礁群の如きもこれによって始めて解釈されよう。又一群島或は一島に於ける珊瑚礁の非対称的発達は氷河作用を何回反覆してもできないことであり、地盤の傾動運動があってのみ解釈の道がある。

要するに第四紀に至って氷河が珊瑚礁に影響する處甚大なものがあった。しかしこれを以って珊瑚礁の発達に開闢以来不断に行われた地盤の間歇的運動を軽視すべきで無く、本末を誤ってはいけない。氷河は地球発達史上の一事変であり、從ってこの事実が無くとも珊瑚礁は今日と余り遠からざる狀態に於て発達を見たことであろう。第三紀の珊瑚礁の如きは氷河の作用を受けていない筈である。從って今日の南洋群島に見る珊瑚礁は地盤運動と氷河作用の両因子の合成によって形成されたと見るべきである。第156図は以上の想定の下にヤルート環礁を代表にとり沈降区域（東部群島）に於ける一般環礁の断面を想像したものである。

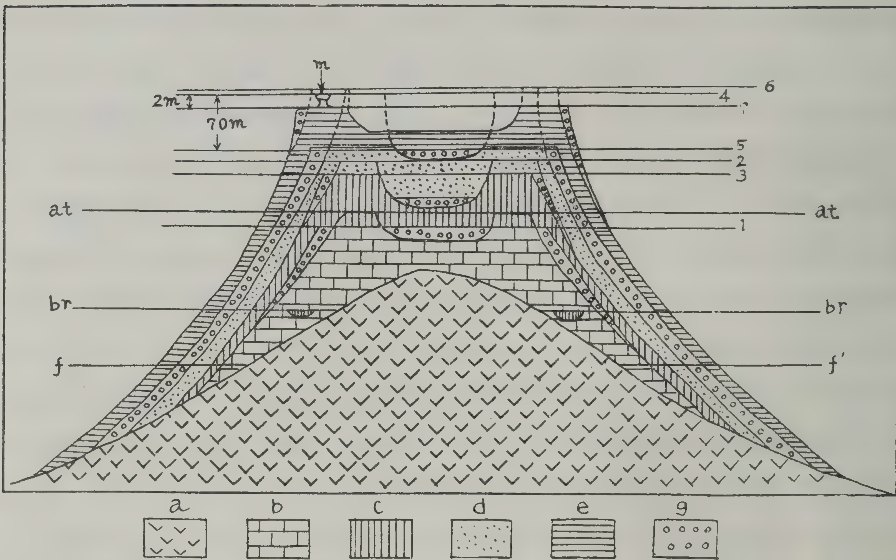
第1水準に於て第三紀珊瑚礁は截頭され、第2水準に於てマリアナ―パラオ石灰岩・カロリン石灰岩の珊瑚礁が形成され、第3水準に於てこれらが截頭され、第4水準にてこの上に古期隆

第 156 図　(Fig. 156)

ヤルート環礁の想像断面図、環礁の基盤の関係を示す

Ideal profile of Jaluit Atoll

Showing the foundation of atoll diagrammatically



a. Foundation rock (Basalt)　　b. Tertiary limestone
c. Mariana–Palau Limestone (Caroline Limestone)
d. Older raised coral reef limestone
e. Younger raised coral reef limestone　　g. Coral detritus
ff′. Fringing reef stage　　br. Barrier reef stage.　　at. Atoll stage
1. Sea level of latest Tertiary　　2. Sea level of 1st. transgression
3. Sea level of 2nd. regression　　4. Sea level of 3rd. transgression
5. Sea level of 3rd. regression　　6. Sea level of 4th. transgression
7. Present sea level　　m. Mushroom rock

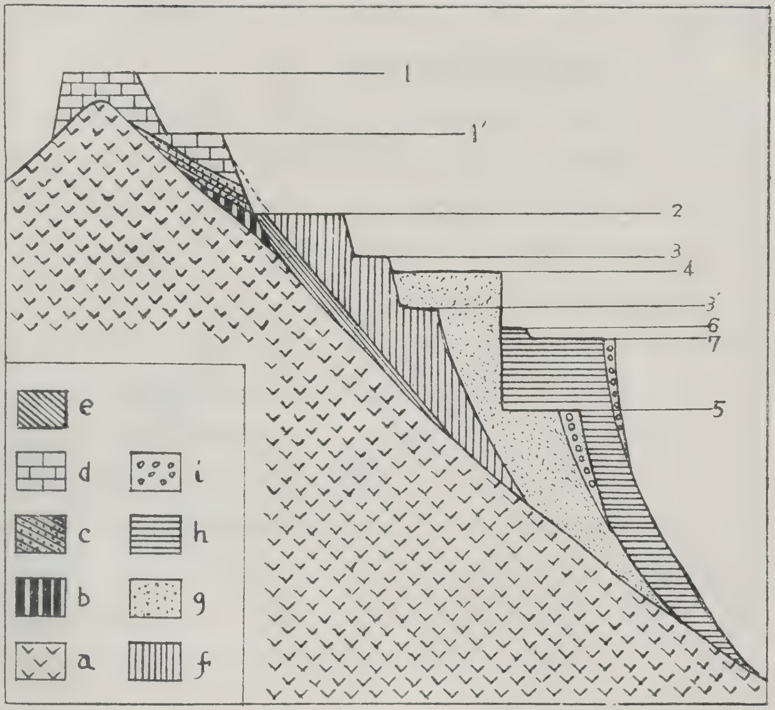
起珊瑚礁石灰岩の珊瑚礁を形成する。この水準面より 70m 低下せる第5水準に於て古期隆起珊瑚礁石灰岩の作る珊瑚礁はその大部分が破壊し去られ、平坦なる海蝕面を形成する。一部のものは中央に礁湖を残して環状の海蝕台を作る。外洋斜面と礁湖に珊瑚屑の堆積を見る。その後復水のため70mの海面の上昇を来たすも、地盤の沈下のため原位置（第4水準面）を越えて水準面は第6水準面まで上昇し、新期隆起珊瑚礁石灰岩より成る珊瑚礁を形成する。最近に於ける2m 前後の海面の低下により第7水準面に於てこの珊瑚礁の頂上部を僅かに截頭し、舗道状の礁原と蕈状岩とを形成する。礁原上にはかくして得られた珊瑚屑が波浪により積みあげられて珊瑚小島が形成された。勿論珊瑚小島の或ものは既に第6水準面の時に於てもその水準面上に形成されており、その汀線上では汀砂岩・礫岩が形成されたことであろう。それが現在まで

続く。

第 157 図　(Fig. 157)

サイパン島の想像断面図、礁段丘を示す

Ideal profile of Saipan, showing reef terrace



a. Foundation rock (Andesite)
b. Laulau Limestone } —Eulepidina group
c. Donnay Bed
d. Tapotchau Limestone—Nephrolepidina group
e. Nafutan Bed—Halimeda group
f. Mariana Limestone—Mariana-Palau L. S.
g. Chatcha L. S.—Older raised coral reef l.s.
h. Tanapag L. S.—Younger raised coral reef l.s.
i. Coral detritus

第157図は隆起区域（西部群島）に於ける珊瑚礁の発達史を図示したものであり、サイパン島をモデルに採用している。第1水準面は第三紀珊瑚礁の堆積面であり、堆卓礁の形をとっている。第1′水準面はその侵蝕面を示す。この時この斜面にハリメダ層群堆積す。第2水準面に於てマリアナ—パラオ石灰岩の珊瑚礁が形成され、第3及び第3′水準面に於てはその側面が侵蝕される。この時代には水面は低下すると共に地盤が上昇するため水面の相対的変化は沈降区域に比し大である。尚間歇的の隆起は階段状の地形（礁段丘）を形成せしめる。第4水準面に於てはこの段丘面上に新たに古期隆起珊瑚礁石灰岩の作る珊瑚礁を形成する。第5水準面に於てはこの前の水準面より海面は70m低下しそれに加えて地盤の隆起が加わるため70m＋αの量だけの陸地の隆起あり、その時古期珊瑚礁石灰岩の作る珊瑚礁が側面より破壊され、その下には海蝕面を形成する。その復水のため70mの海面の上昇を来たすも地

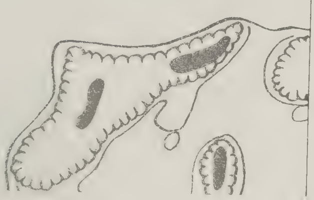
盤の隆起のため原位置（第4水準面）に達せず水準面は第6水準面に留る。この時代に新期隆起珊瑚礁石灰岩の珊瑚礁が形成される。最近に於ける2m前後の海面の低下により第7水準面に於てはこの珊瑚礁の上部は切頭され鋪道狀の礁原と蕈狀岩とを形成す。他方海岸平野の形成となる。現在に於いては蕈狀岩のノッチ下又は海岸平野の砂浜下に汀砂岩（現成石灰岩）の堆積を為す。

6. 安定地帯に於ける珊瑚礁

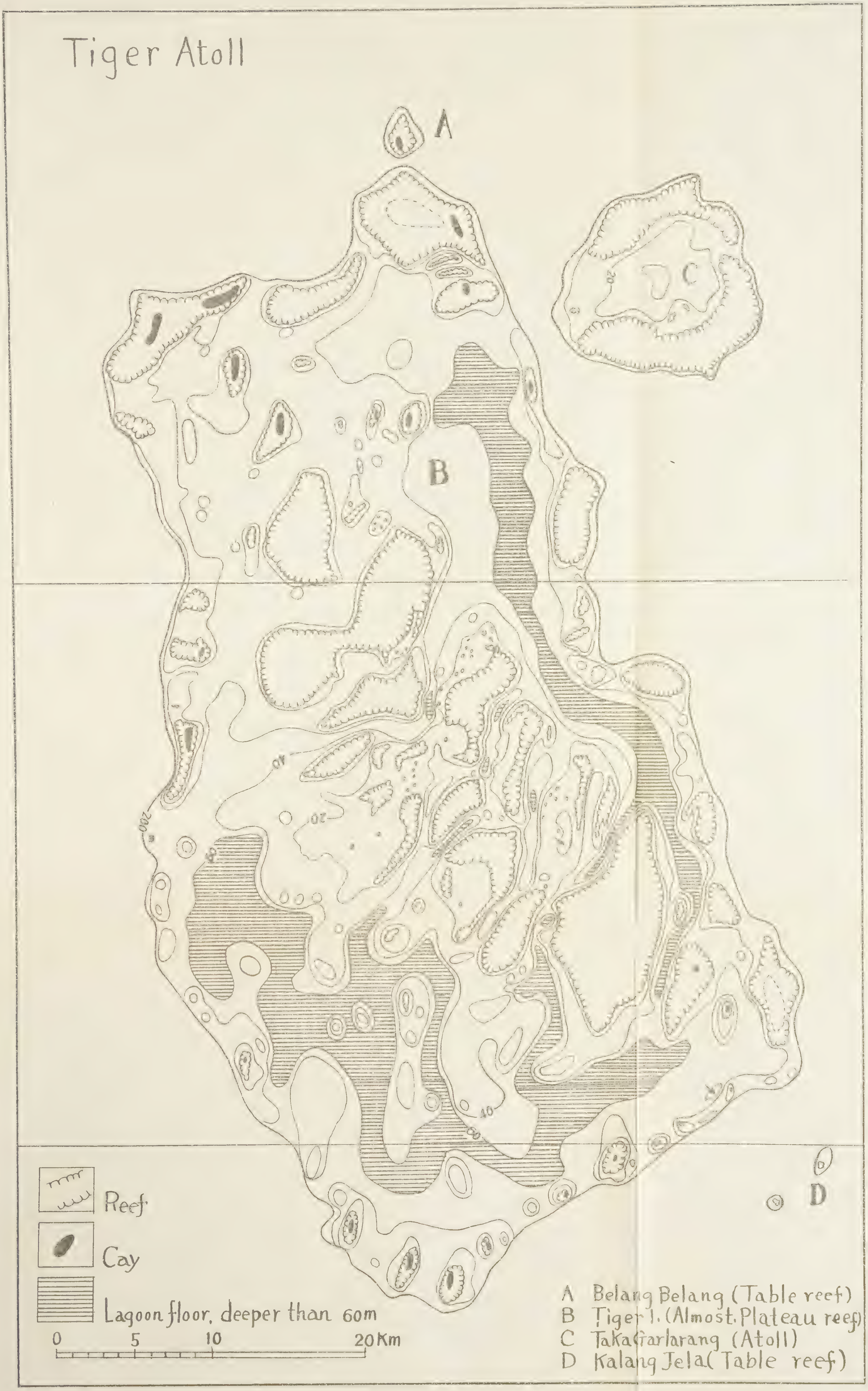
珊瑚礁は Darwin の進化理論により裾礁より卓礁に形態を変ずるのみならず地盤運動の質量・速度と造礁珊瑚の生長度、珊瑚屑の堆積度との相関々係により反対に逆路をとることも考え得られる。例えば若し長期の靜止が続くならば礁湖の埋積（造礁珊瑚の発育と珊瑚屑の堆積による）の結果とし堡礁より準堡礁に、準堡礁より裾礁に退化する場合も起るであろう。しかしこの際は幅の広い礁原が形成される筈である。ヤップの準堡礁はかくの如き過程中のものではなかろうか。南部マリアナの準堡礁もこの範疇に属すべきものであり、更に裾礁に近いものであろう。南部マリアナに於ては傾動運動のため西斜面は沈下（−）を為して準堡礁を形成したのであるが他方全体としての隆起（＋）ある故結局海面変化は0に等しいか若しくは現在は＋が勝っているのであろう。ヤップ準堡礁は長期の靜止の結果広い礁原を有するに至ったものであるとDavisは説明している。クサイの準堡礁は進化過程中にあるものと思惟される。しかし本礁に於ても盛んに埋積の行われつつあることは前述した處であるがこれは中央島の特別な地形に支配された結果と見るべきである。即ちクサイの中央島は起伏著しく、かつ河谷の密度は大であり、それに加えて降水量が著しく大である故に礁湖に持ち運ばれる岩屑の量は著しく大なるものがあると思われる。

安定地帯に発達すべき珊瑚礁の一型式に**高原礁**（**Plateau reef**）[(48)(52)]がある。筆者が旧蘭領アル群島（Aru Islands）を調査し、その形態より暗示を得て想定し命名した珊瑚礁である。非常に巨大な珊瑚礁であり、礁湖内の離礁が極端に発達し、そのために礁湖は著しく狹められ水溝の形に於いて存在するものである。若し基盤たる海底台の表面が特別の形態（多少凹凸ある準平原の如き面）を有し、その上に珊瑚が着生し、しかも基盤が長期の靜止又は極めて徐々たる沈下を続ける場合、そこに特別の形態の珊瑚礁の形成が可能であると考えられる。この高原礁の範疇に入る現水準面珊瑚礁は実在しない。しかし隆起高原礁（Raised plateau reef）と覚しきものは存在し、その例がアル群島である。尚本群島は安定区域とされているサフル（Saful）陸棚上に位置す。又環礁と高原礁との中間型即ち**準高原礁**（**Almost plateau reef**）は当然あるべきであり、事実旧蘭印地方に二・三実在する。Kuenen の報告するTiger Islands（72×33km）（第158図）・Postilyon Islands[(26)(83)]はこの例である。かくの如き形態の珊瑚礁は南洋群島には全くその例が無い。これは地盤運動の甚しい南洋群島にあっては当然のことであろう。

Tiger Atoll



第158図　(Fig. 158)
準高原礁の例
Example of almost plateau reef



一島嶼に附着する裾礁があり、基盤が長い間静止の狀態を保ったと仮定する時小島嶼は海蝕のため取去られ礁原より続く一続きの面と化するであろう。かくの如き場合には地形的に卓礁と混同されやすい。若しその後僅かばかりの海面の低下を来たす如きことがあれば表面的には全く卓礁と区別され得なくなるであろう。又裾礁から堡礁を經ずに一氣に外見上環礁になり得る（細長い裾礁の末端が伸びて手を組んだ形になり、中に礁湖を抱くようになる）ことは筆者が New Guinea の北岸に於いて望見した Padaido Islands の例から想像される。

7. 海底火山上の珊瑚礁

地盤運動又は海面の変化に無関係に適当なる水深の海底火山頂に附着してできる珊瑚礁のあることは北部マリアナのサップライ礁に於て目撃できる通りである。火山頂の形態の如何により卓礁・準卓礁・準環礁・環礁・堡礁・準堡礁の如きものが形成される筈である。しかしこれらは例外的の存在であることは勿論である。今仮に現在の北部マリアナ群島の火山島頂に珊瑚礁が着すれば珊瑚礁は卓礁・準卓礁・環礁・堡礁・準堡礁の形態をとるであろう。

IX 結　　論

珊瑚礁は形態的に分類されるのみならず成因的にも大きく海面変化（地盤の変化をも含む）によるものと海面変化に無関係のものの二つに分たれ、前者は更に進化過程中のものと退化過程中のものの二つに区別される。要するに珊瑚礁はその成因が一で無く多元的である。しかし大部分は Darwin 理論により形成され、 Daly 理論の制約を經たものと筆者は見たいのである。この点 Ph. H. Kuenenの考と一致するものがある。

最後に珊瑚礁が適当なる沈降により形態の進化を来たし、又長期の靜止により形態の退化を来たす狀態を表示すれば次の如きものである（175 ページ）。 尙次表に於て縦に沈降による変化を示し、横には長期の靜止による変化を示し実例を附記した。急激なる地盤の沈降は各種の沈沒珊瑚礁を生じ、海面の低下又は地盤の上昇は隆起珊瑚礁を生ぜしめることは勿論である。

珊瑚礁は次表の示す如く結局は無礁湖なる珊瑚礁即ち裾礁・卓礁・高原礁の何れかに終るべきものである。しかし実際は長期の靜止がないため現実には進化過程の各種の珊瑚礁を数多く見るのである。

◇

擱筆するにあたり御指導と御鞭撻を賜った東北大学名譽教授矢部長克博士並に前南洋駐在武官小西干比古大佐に対し深甚の感謝の意を表す。又珊瑚礁の調査にあたり現地に於て援助を与えられ、苦樂を共にした水路部測量班・磁氣観測班の諸氏、南洋庁職員特に熱帶産業研究所商工課鑛務係の諸氏並びにパラオ熱帶生物研究所の研究員に対し、又南洋興発・南洋拓殖・南洋貿易・南興水產・パラオ水產の諸会社に対し、又常に鞭撻と忠言を賜り或は造礁珊瑚・化石の鑑定に、或は岩石の鑑定に盡力して下さった東北大学地質学古生物学教室の職員各位に対し深甚の謝意を表するものである。

尙最後に生前御指導と御鞭韃を賜った故青木廉二郎教授・故海軍技師小倉伸吉博士並びに南冥の地に散華した筆者の有能なる助手伊藤七郎・飯塚敏夫両氏と南海で職に殉じた水路部測量班の諸氏の靈にこの文を捧ぐ。

沈沒卓礁←——ハンター礁 (Hunter Reef)

↑

卓　礁 ←卓　礁 ←
- 北マニラ礁 (North Manira Reef)
- ソンソル島 (Sonsorol I.)
- キリー島 (Kili I.)
- シュック島 (Pulusuk I.)
- エリップ島 (Lib I.)
- メジチ島 (Mejit I.)

↑

卓　礁 ←準卓礁 ←
- 沖ノ鳥島 (Parece Vela Reef)
- ロシャップ諸島 (Losiep Is.)
- ナーリキリック諸島 (Narik Is.)
- ウェィク諸島 (Wake Is.)

↑

高原礁 ←準高原礁 (Tiger Is.) ←環　礁 ←
- ガジャングル諸島 (Ngajangel Is.)
- ポカアック諸島 (Taongi Is.)
- ヤルート諸島 (Jaluit Is.)
- クエジェリン諸島 (Kwajalein Is.)
- ミレ諸島 (Mille Is.)

↑

広礁原の裾礁 ←準堡礁 ←堡　礁 ←準環礁 ←——トラック諸島 (Truk Is.)

↑

広礁原の裾礁 ←準堡礁 ←堡　礁 ←
- パラオ諸島 (Palau Is.)
- ポナペ島 (Ponape I.)

↑

サイパン島 (Saipan I.)
テニアン島 (Tinian I.)
ロタ島 (Rota I.)

広礁原の裾礁 ←準堡礁 ←
- クサイ島 (Kusaie I.)
- ヤップ諸島 (Yap Is.)
- グァム島（一部）(Guam I.)

↑

裾　礁 ←裾　礁 ←
- フハエス島 (Fais I.)
- グァム島（一部）(Guam I.)
- パガン島 (Pagan I.)

↑

裾　礁 ←エプロン礁 ←
- テニアン島 (Tinian I.)
- モウグ島 (Maug I.)

↑

裾　礁 ←エプロン礁 モウグ島 (Maug I.) ←無　礁 ←
- ウラカス島 (Pajaros I.)
- アッソングソン島 (Asuncion I.)

X 參考文献·參考図

参考文献

(1) 青木 廉二郎：新占領南洋諸島地質略報（文部省、南洋新占領地視察報告、大正5年）

(2) 〃 ：南北大東島の地形・地質（地質学雑誌、第4巻、昭和6年）

(3) 朝比奈 秀雄：南洋珊瑚礁の地形に就て（水路要報、第10年、昭和6年）

(4) W.Behrman : Die Oberflächenformen inden feuchtwarmen Tropen (Zeits. Gesells. f. Erdk. Berlin, 1921)

(5) J. D. Dana : Corals and Coral Reefs (New York, 1872)

(6) R. A. Daly : The Glacial-control Theory of Coral Reefs (Proc. Amer. Acad. Art. Sci. Vol. LI, No.4, 1915)

(7) W. M. Davis : The Coral Reef Problems (Amer. Geogr. Soc. Special Publication, No.9, 1928)

(8) Ch. Darwin : The Structure and Distribution of Coral Reefs (1842)

(9) 江口 元起：南洋パラオ群島の珊瑚及び珊瑚礁（東北大学、地質学古生物学教室研究邦文報告、第11号、昭和9年）

(10) 半沢 正四郎：沖縄島及び小笠原島の含有孔虫岩に就て(地質学雑誌、第32巻、大正14年)

(11) S. Hanzawa : Topography and Geology of the Riūkiū Islands (Sci. Rep. Tōhoku Univ. II Ser. Vol. XII, 1935)

(12) 半沢 正四郎：南洋群島の地質概観並びに同群島近海の海底地形と底質(太平洋協会、大南洋、昭和10年)

(13) S. Hanzawa : Micropaleontological Studies of Drill Cores from a Deep Well in Kita-Daitō-Zima (矢部教授還暦記念論文集、第2巻、昭和15年—16年)

(14) W. H. Hobbs : Reef-formation as an Index of Mountain-building Process (Pan-Pacific Sci. Cong. Australia, 1923)

(15) 〃 : The Asiatic Arc (Bull. Geol. Soc. Amer. Vol. XXXIV, 1923)

(16) 羽田 良禾：我が南洋諸島中のガルドック湖に就て(陸水学雑誌、第2巻、昭和7年)

(17) 長谷部言人、八幡一郎：過去の我が南洋（昭和8年）

(18) ハンブルノ：ポナペ島地質調査報告（邦訳）（南洋庁ポナペ支庁所藏）

(19) 岩崎 重三：南洋の地質（地質学雑誌、第20巻、大正4年）

(20) E. Kaiser : Alte Gestein von den Karolinen (Zeits. Deut. Geol. Gesells. Bd. LIV, 1902)

(21) 〃 : Beitrage zur Petrographie und Geologie der Deutschen Südsee-Inseln (Jahrb. Preuss. Geol. Landesanst. Bd. XXIV, 1903)

(22) K. Kinoshita : Preliminary Notes on the Nepheline Basalt and some associated Rocks from Truk, Caroline Islands (地質学雑誌、第30巻、大正15年)

(23) W. Koert und L. Finckel : Zur Geologischen Kenntnis von den Palauinseln, den Marianen und Ponape (Beitrage zur Geologischen Erdkunde der Deutschen Schutzgebiet, Heft XVIII, 1902)

(24) 小 向 良 七 : トラック島の地形・地質 (東北大学、地質学古生物学教室、卒業論文、昭和17年)

(25) 小 平 正 夫 : テニアン島の地質 (東北大学、地質学古生物学教室、卒業論文、昭和14年)

(26) Ph. H. Kuenen : Geology of Coral Reefs (Scientific Results of Snellius-Expedition Vol. V, Geological Result, Part 2, 1933)

(27) G. A. F. Mollengraaff : The Coral Reefs in the East Indian Archipelago, their Distribution and Mode of Development (Fourth Pacific Science Congress. Vol. II, A)

(28) M. Matuyama : Determination of the Second Derivation of the Gravitational Potential on the Jaluit Atoll (Memoirs College of Sci. Kyōto, Vol. III, 1918)

(29) 大 築 洋 之 助 : 南洋群島の地質及び鑛産物 (地質調査所報告、第54号、大正14年)

(30) 小 野 山 武 文 : 南洋統治領主要諸島の地形と地質雑観 (地球、第23巻、昭和10年)

(31) 太 田 恭 : 北大東島試錐岩芯及び大東石灰岩の化学分析並びに顕微鏡的吟味 (東北大、地古、邦文報告、第30巻、昭和15年)

(32) C. Semper : Reisenbericht (Palau Inseln) (Zeits. f. Wiss. Zool. Bd. XIII, 1863)

(33) R. Sigematu : A Brief Note on the Depths of Sea in the Vicinity of Mariana Islands (Records of Oceanographic Works, Vol. V, 1933)
(34) 菅　原　省：ロタ島の地質（東北大学、地質学古生物学教室、卒業論文、昭和14年）
(35) 杉　山　敏　郎：北大東島試錐に就て(東北大、地古、邦文報告、第11号、昭和9年)
(36) 〃 ：第2回北大東島試錐に就て(東北大、地古、邦文報告、第25号、昭和11年)
(37) 田　山　利　三　郎：マーシャル群島珊瑚礁の地形学的考察（同上、第10号、昭和9年）
(38) 田山利三郎、江口元起：珊瑚礁（岩波講座、地質学、昭和9年）
(39) 田　山　利　三　郎：礁原（Reef-flat）の幅に就て（地理学評論、第10巻、昭和9年）
(40) 〃 ：我が南洋に於ける珊瑚礁の分布（　同上　第10巻、昭和9年）
(41) 〃 ：珊瑚礁の一型式卓礁（Table Reef）に就て（水路要報、第13年、昭和9年）
(42) 〃 ：ロタ島の地形（地理学評論、第11巻、昭和10年）
(43) 〃 ：南洋群島の島の配列と海底地形（東北大学、地古、邦文報告、第17号、昭和10年）
(44) 〃 ：パラオ島群の地形・地質並びに珊瑚礁(同上、第18号、昭和10年)
(45) R. Tayama : Table reefs, a particular Type of Coral Reefs (Proc. Acad. Tokyō, Vol. II, 1935)
(46) 〃 : Distribution of Coral Reefs in the South Sea (Proc. Acad. Tokyō, Vol, 11, 1935)
(47) 田　山　利　三　郎：ヤップ島群の地形・地質並びに珊瑚礁（東北大、地古、邦文報告、第19号、昭和10年）
(48) 〃 ：蘭領東印度アル群島の地形・地質並びに珊瑚礁（同上、第20号、昭和11年）
(49) 〃 ：テニアン島の地形・地質並びに珊瑚礁(同上、第21号、昭和11年)
(50) 〃 ：北部マリアナ群島の地形・地質並びに珊瑚礁(同上、第23号、昭和11年)
(51) 〃 ：ポナペ島の地形・地質並びに珊瑚礁（同上、第24号、昭和11年）
(52) 〃 ：蘭領東印度アル群島の地形学的・地質学的考察（地理学評論、第12巻、昭和11年）

(53) 田 山 利 三 郎：地学上から見たヤップ島（科学、第6巻、昭和11年）
(54) 田山利三郎、島倉已三郎：パラオ島群バベルダオブ島の石炭に就て（地質学雑誌、第44巻、昭和12年）
(55) 田 山 利 三 郎：南洋群島西部海嶺及び群島の地盤運動について（東北大、地古、邦文報告、第28号、昭和12年）
(56) 〃 ：サイパン島の地形・地質並びに珊瑚礁（南洋庁熱帯産業研究所彙報、第1号、昭和13年）
(57) 〃 ：サイパン島の地下水調査報告（第1報）（同上、第2号、昭和14年）
(58) 〃 ：バベルダオブ島（パラオ本島）の地質並びに鑛物資源略報（同上、第3号、昭和14年）
(59) R. Tayama : Terraces of the South Sea Islands under the Japanese Mandate (Proc. Acad. Tokyō, Vol. XV, 1939)
(60) 田 山 利 三 郎：南洋群島の地層対比（地質学雑誌、第46号、昭和14年）
(61) 〃 ：珊瑚礁の分類試案（地理学評論、第15巻、昭和14年）
(62) 〃 ：トラック諸島の地形・地質並びに珊瑚礁（矢部教授還暦記念論文集、昭和15年）
(63) 〃 ：アギーガン島の地形・地質並びに珊瑚礁（南洋庁熱帯産業研究所彙報、第6号、昭和15年）
(64) 〃 ：南洋群島に於ける燐礦の堆積型とその分布(同上、第8号、昭和17年)
(65) 〃 ：南洋群島の珊瑚礁（太平洋協会、「南洋群島」、昭和16年）
(66) 〃 ：蘭領ニューギニア、ホーゲルコップ半島の地形学的、並びに地質学的観察（東北大、地古、邦文報告、第37号、昭和17年）
(67) 〃 ：珊瑚礁講話（水路要報、第21年、昭和17年）
(68) 多 田 文 男：南洋群島の海蝕段丘（地理学評論、第2巻、大正15年）
(69) K. Tuboya : Petrographical Investigation of Some Volcanic Rocks from the South Sea Islands, Palau, Yap and Saipan (Jap. Jour. Geol. Geogr. Vol. IX, 1931)
(70) 辻 村 太 郎：新考地形学（昭和8年、古今書院）
(71) G. Volkens : Über die Karolinen Insel Yap (Verh. d. Gesells. f. Erdkunde z. Berlin. Bd. XXXVIII, 1901)
(72) A. Wickman : Zur Geologischen Kenntnis der Palau Inselen (Jour.

Museum Godeffroy, 1875)

(73) H. Yabe and R. Tayama : Depth of the Atoll-lagoons in the South Sea (Proc. Acad. Tokyō, Vol. XIII, 1931)

(74) H. Yabe and R. Aoki : Reef-conglomerate with small Pellets of Lepidocyclina limestone found on the Atoll Jaluit (Jap. Jour. Geol. Geogr. Vol. I, 1922)

(75) H. Yabe and T. Sugiyama : Subfossil Gizzard stones probably of Birds found in the Phosphate Deposits of Kita-Daitō-Zima (Proc. Imp. Acad. Tokyō, Vol. X, 1934)

(76) 矢部長克、半沢正四郎 : 台湾第三紀有孔虫岩の層比学的研究（小川博士還暦祝賀地質学論叢、昭和5年）

(77) H. Yabe and R. Tayama : On some remarkable examples of drowned valleys found around the Japanese Islands (Records of Oceanographic works in Japan, 1929)

(78) 吉井正敏 : 南洋群島非石灰岩略記 （東北大、地古、邦文報告、第22号、昭和11年）

(79) 水路部 : 南洋群島水路誌（昭和15年）

補　遺

(80) 淺野清 : 南洋群島の珊瑚礁に就て（東北大、地古、邦文報告、第39号、昭和17年）

(81) 杉山敏郎 : ヤップ島の造礁珊瑚並びに裾礁について（同上）

(82) 矢部長克 : 珊瑚礁問題（同上）

(83) Ph. H. Kuenen : "Two problems of marine geology : atolls and canyons" (Verhandelingen der koniuklijke Nederlandsche Akadimie van Wetenschappen, Afd. Naturkunde Tweede Sectie, XLIII. No. 3, 1947)

(84) 〃 : Marine geology 1950 (Neu York)

(85) F. P. Shepard : Submarine geology, 1948 (New York)

(86) H. S. Ladd, J. I. Tracey, J. W. Wells and K. O. Emery : Organic growth and sedimentation on an atoll (The Journal of Geology, Vol. LVIII, No. 4, 1950)

(87) H. S. Ladd, K. O. Emery and J. I. Tracey : Submarine Geology and Topography in the Northern Marshalls (Transactions of the American Geophysical Union, Vol. XXX, PP. 55—58, 1949)

(88) H. S. Ladd : Recent reefs (The Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Vol. XXXIV, No. 2, 1950)

(89) H. S. Ladd and J. I. Tracey : Coral reefs in colour (Geographical Magazine Vol. XXIII. No. 9, 1951)

(90) 〃 : The problem of coral reefs (The Scientific Monthly Vol. LXIX. No. 5, 1949)

(91) 江 原 眞 伍：日本島の太平洋地体構造論（立命館大学50周年理工学部記念論文集、昭和 25 年 10 月 15 日）

(92) R. Tayama : Geology of Angaur Island (Short Papers, No. 3, Inst. Geol. Paleo. Tōhoku Univ. Japan, 1951)

(93) R. Tayama, S. Yamamoto and T. Tsuyama : Investigation of Ground water on Angaur Island, Palau, U. S. Trust Territory of the Pacific Islands (Prepared by the Phosphate Mining Co. Ltd. Tokyō, Japan. May, 1951)

(94) 田 山 利 三 郎：航路標識としてのグョット（Guyot）の地形（水路要報、第23号、昭和26年）

参 考 圖

1. 水 路 部 ： 南洋群島の全海図
2. 〃 ： 日本近海水深図（昭和 12 年）
3. 〃 ： 日本近海深淺図（昭和 14 年）
4. 〃 ： 日本近海深淺図（昭和 27 年）
5. 〃 ： 北太平洋海流図
6. 〃 ： 北太平洋氣象図

CORAL REEFS OF THE SOUTH SEAS

By

Dr. RISABURŌ TAYAMA, D. Sc.

Professor of Geography, Tōhoku University, Sendai
Chief of Surveying Section, Hydrographic Office, Tōkyō

I INTRODUCTION

The South Sea Islands, formerly under the Japanese mandate, are widely dispersed in the area between Uracas (Pajaros) Island, Lat. 20° 32′ N., to the north, and Greenwich Island, Lat. 1° 1′ N., to the south, and are favored with the conditions required for the growth of reef building corals. Accelerated by such conditions, the corals thrive and, with the aid of other calcareous organisms such as calcareous algae and Foraminifera, build marine constructions which control either directly or indirectly, the industry, communications and civilization of the tropical zone. The coral reefs of the tropics are a strange phenomenon and present one of the colossal scenes of the world.

Between 1932 and 1943, I had several opportunities which made possible studies of coral reefs in the South Sea Islands. Preliminary reports pertaining to each of these limited areas have already been published. They are condensed and revised in the present report, and, in addition, some of the islands adjacent to the mandate area are going to be brought under discussion. **Coral Reefs of the South Seas** is the first attempt at a complete report and is submitted for the Public's correction and approval.

Acknowledgements

Acknowledgements are due to the following: Dr. H. Yabe and Captain T. Konisi; members of Survey Section of the Hydrographic Office; former members of the South Sea Islands Government; Tropical Industry Institute; South Sea Development Company (Nanyōkōhatu Kaisya); South Sea Colonization Company; and the South Sea Trading Company; to the faculty members of the Institute of Geology and Paleontology, Tōhoku University, Sendai, whose constructive criticisms and assistances in determening rocks and fossils, were invaluable to the present study, and to the Japan Society for the Promotion of Scientific Research for defray of financial support in part. Particular thanks are due to Miss Julia Gardner and Mr. Sherman Neuschel of the United States Geological Survey and present members of the Engineers Intelligence Section, GHQ.

II GENERAL SURVEY OF FOUNDATION ROCKS

A Submarine Topography of the South Sea Islands

The development of a pattern of trenches or troughs is a peculiar and characteristic topographic feature of the Pacific Ocean Bottom. (Appendix Fig. Nos. 1, 2, 3) The large scale, clear definition and systematic linear distribution are best displayed in the Western Pacific.

Two major series are defined. The first series covers the trenches and troughs extending from the southern tip of Japan Proper to Halmahera, along the offshores of Okinawa, Formosa and the Philippines. The **Philippine Trench** includes the deepest recorded sounding, 10,497 meters, it was made by the *Cape Johnson.* The second series extends along the offshores of Kamchatka Peninsula, the Kuril Islands, Japan Proper, Bonin Islands and the Marianas to the eastern and southern coasts of the Yap-Palau Group. The **Japan Trench** is much longer than those farther south and includes the deepest soundings of the series, 10,374 meters. The gradients seem, from the hydrographic charts, to be extremely steep but actually, even the steepest slope on the west wall is approximately 10°. The Japan Trench does not extend along the entire length of Japan Proper but is directed southward from the offshore of Bōsō Peninsula, Tiba Prefecture, to the eastern offshore of the Bonin Islands.

The present discussion will be limited to the submarine topographies south of the Bonin Islands for they, alone, relate directly to the various problems of the coral reefs.

1 Western Area

The **Mariana Trench** extends in a great arc from Lat. 24° N. to Lat. 10° N. At the northern extremity, it is connected with the **Ogasawara (Bonin) Trench,** which, in turn, is tied with the Japan Trench. From the southern extremity of the Mariana Trench, the Yap Trench, Lat. 10° N. to Lat. 7° N. and the Palau Trench Lat. 8° 20′ N. to Lat. 5° 50′ N., trend southwest in echelon. The Mariana Trench is broken into three lengths by two relatively shallow areas at 19° and 16° North Latitude. The central section is the most shallow; the southern, the deepest, more

than 8,000 meters. The maximum depth, 9,814 meters, was sounded by the warship *Mansyū,* at the western edge near the southern extremity.* The walls of the trench are asymmetric ; the west wall is steeper than the east, but even the dip of the west wall is no more than approximately 10°. Although the northern and southern extensions of the Mariana Trench parallel to the arc of the Mariana Islands, the central section is as far as 140 nautical miles off shore. In other words, the curvature of the Mariana Trench is greater than that of the arc of the Mariana Islands.

West of the Mariana Trench are three arcuate ridges, convex to the east. Both their northern and their southern extremities are united and the curvature of the ridges decreases toward the west, so together, they form a great crescent, opening to the west. The western ridge has been termed the First Mariana Ridge; the central ridge, the Second Mariana Ridge; the eastern ridge, the Third Mariana Ridge. The fourth ridge has been postulated on the bases of a series of reported bottom elevations east of Mariana Trench, but the outline has not been verified. For that reason, in the present report, only three ridges are recognized, and they are re-termed the **West Mariana,** the **Middle Mariana** and the **East Mariana Ridge.**

The Middle and East Mariana Ridges extend south from the **Siti (Shichi)-To—Yuō-Zima Ridge** and the **Ogasawara (Bonin) Ridge** respectively; the distance separating them is only about 45 kilometers. Between the Middle Mariana Ridge and the West Mariana Ridge there is a large crescentic basin which may be related to the anomalous curvatures of the central part of the Mariana Trench and the islands arc. The Middle Mariana Ridge is about 1,500—1,000 meters high and the ocean floor 4,000—3,500 meters below sea level. The West Mariana Ridge is 1,000 meters above sea bottom; the sea floor, 3560 meters below sea level. The width at the bases of the ridges, is approximately 110 kilometers.

The observations on the slopes of the ridges indicate that the east side of Yuō-Zima Ridge is steeper than the west side. The West and Middle Mariana Ridges, both of them are separated from the Yuō-Zima Ridge, display characters inherent in the parent ridge. The eastern and western slopes of the West Mariana Ridge are symmetrically developed. But the western slope of the Middle Mariana Ridge is steeper than the eastern slope. Although the western slope of the Bonin Ridge is steeper than the eastern, in the East Mariana Ridge which is considered an

* In the vicinity, the Challenger recorded 10,863 meters (the world record for depth) in 1951.

extension of the former, the western slope is gentle and the eastern slope is relatively steep. This change in the submarine topographic pattern occurs at 23° North Latitude. Between the Middle Mariana Ridge and the Mariana Trench, an ocean flat approximately 60 nautical miles wide and 3000 to 4,000 meters deep trends from north to south. A triangular area gently inclined from north to south, 3,500 to 5,000 meters below the surface, trends to the east of the East Mariana Ridge. At the southern extremities of the West and East Mariana Ridges, the south slopes of the ridges form the north walls of the trench.

Yap Trench is a continuation, after a short break, of the southern-most part of Mariana Trench. A shallow area, like a valley divide, 4000 meters below the surface separates the two trenches. The arc of the Mariana Trench is convex eastward but Yap Trench is shaped like a letter *S* stretched at both ends. The maximum depth, 8010 meters was sounded off the eastern shore of Ngulu Island. The walls of Yap Tranch, like those of Mariana Trench are steeper on the west side than on the east but in contrast to the Mariana Trench, the average gradient of the west wall of Yap Trench is 11° and the maximum, 22°.

Yap Ridge forms the west wall of Yap Trench. The width at the base of the ridge is approximately 55 kilometers. The curvature of Yap Trench is small, but like that of the Marianas, it is open to the west. As indicated by the cross section of Yap Ridge (Fig. 1), the east and west slopes are asymmetric. As a rule, the western slopes are steeper, especially near sea level, and as the depth increases, the gradient decreases. The average gradient to a depth of 1.500 meters is 23°; 10°, from 1,500 meters to 3,500 meters; and beyond that depth, the gradient decreases sharply and the slopes begin to merge with the Pacific Ocean Floor. On the eastern side, the average gradient is 13° down to 1,500 meters; beyond that depth, however, the slopes which form the wall of Yap Trench are very steep and the gradient reaches to 28° in maximum. The maximum elevation above sea level on Yap Ridge is 178 meters, but when the ridge is considered as a whole, this is negligible.

Palau Trench is broken and lies in echelon on the west side of Yap Trench. It extends north and south with a slight curvature to the east. As in Mariana and Yap Trenches, the west wall of Palau Trench is steeper than the east; the maximum gradient is 18°.

Palau Ridge (Figs. 2, 3) which forms the west wall of Palau Trench is similar to Yap Ridge in orientation and rises from a similar depth, from 5,000 to 4,000

meters. Its northward extension is Parece Vela Ridge or Douglas Bank. A cross section indicates steep slopes down to 600 meters but beyond that depth, they become gradually more gentle. The difference between the eastern and western slopes is conspicuous. The western slopes are comparatively gentle and the eastern slopes are steep. On the eastern coast, the 2,000 meters contour lies approximately 6 kilometers offshore; on the western coast, it is sounded approximately 17 kilometers offshore. The northern and the southern areas of the eastern slope form the west wall of Palau Trench, but in the central area there is a level floor trending from northeast to southwest, 3,500 to 4,500 meters below the surface.

The surface relief is higher than on Yap Ridge and the maximum elevation, 240 meters, but this is infinitesimal in comparison with the relief of the ridge as a whole. Parece Vela Ridge or Douglas Bank is not a continuous ridge but includes many aligned ridges and domes. Between the ridges, there are at least two saddles approximately 5,000 meters deep and a saddle exceeding 4,000 meters in depth between Parece Vela and Palau Ridges. The northern extension of Parece Vela Ridge is not clear but it may be connected with **Daitō Ridge** or with 270-Meters Ridge, minimum depth, 270 meters, which intersects Daitō Ridge like a letter *T*. Possibly there is a northern extension from 270-Meters Ridge which reaches the southeastern offshore of Kyūsyū.*

A short branch trough northeast from the northern tip of Palau Trench is provisionally called the **Yap-Palau Trough** because it lies between the Yap and Palau Trenches. The maximum depth is 5,306 meters. Between the Yap and Palau Ridges lie two small offset ridges; one nearer to the Yap Ridge emerges 2,500 meters above the ocean floor and is known as the **West Yap Ridge.**

South of the Palau Trench, there is no submarine feature that can be called a trench or trough, although there is a plateau like elevation south-southwest of Palau Ridge, it is known as **Tobi Ridge.**** It is possible that certain sub-surface depressions may be connected by way of the deep east of Transit Reef (existence doubtful) with the trough north of New Guinea.

The western slope of the Tobi Ridge is steep; locally, gradient is 10°. The eastern slope, on the contrary, merges gradually with the floor of the West

* Present-day, it became clear that Parece Vela Ridge is a continuous ridge connecting Palau Ridge to the southeastern offshore of Kyūshū.

** Present-day, it became clear that south of the Palau Trench, there is a trench which has been named Tobi Trench.

Caroline Basin. The southern extension of the Tobi Ridge is not clearly indicated. It may possibly extend to Asia Atoll, north of Waigeo Island or possibly to the Schouten Islands of New Guinea by way of Mapia Atoll or to 1,990-Meters Dome on the eastern offshore of Morotai Island. From the information now available, the first possibility seems the most reasonable.

A large part of the Western Pacific is embraced by the series of ridges extending from Izu Siti (Shichi) Tō—Yuō-Zima Ridge to Tobi Ridge and by another series of ridges extending from the offshore of southern Japan Proper to Halmahera by way of the offshores of Okinawa, Formosa and the Philippines. We have divided this vast expanse of sea known as the South Japan Sea (Minami Nippon Kai), the Philippine Sea or the Mariana Sea. The long diagonal of the rhomb shaped body of water is the Izu Peninsula-Morotai Line and the short diagonal connects Formosa and Saipan.

2 Eastern Area

The **West Carolin Basin** is an immense squarlish expanse of water 4,000 to 5,000 meters deep, between Tobi Ridge and the **West Caroline Plateau.** Its northern margin terminates in the **West Caroline Ridge** and its southern tip merges with the New Guinea Trough. The U-shaped **East Caroline Basin,** roughly parallels to Long. 151° E., lies between the East and West Caroline Plateau. Like the West Caroline Basin, the average depth is 4,000 to 5,000 meters but a maximum depth of over 6,000 meters was sounded near the southern margin.

Sharply defined ridges such as those of the western are not displayed in the eastern area but in place of them there are many ridges like crest and dome. Caroline Ridge, 5° to 10° N. Lat. and 138° to 156° E. Long., east of Yap Trench rises from a depth of more than 4,000 meters. The ridge is a composite of many parallel ridges patterned in an obscurely defined arc toward the northeast.

A trough between the ridges might reasonably be expected but there is no indication of a depression in the contours. However, the soundings are relatively few and the outline is not yet clearly defined. There is a distinct trough or rather a line of troughs with a maximum depth of 4859 meters in the western half parallel to the axis line.

The width of the composite ridge is 460 kilometers. Ridges of the West Caroline Ridge (Appendix Fig. No. 6) are crowded and grouped into a kind of plateau, 2,500 to

2,000 meters in relative height and extending 1200 kilometers east and West and 370 kilometers north and south. The **East Caroline Ridge,** on the other hand, is a composite of many aligned creasts. South of the West Caroline Ridge is the West Caroline Plateau 2,000 meters in relative height. South of the East Caroline Ridge is the **East Caroline Plateau** (Greenwich Plateau), with a relative height of 2,500 meters.

Marshall Ridge is 460 kilometers northeast of East Caroline Ridge. Like East Caroline Ridge, it is not a typical ridge, but a series of parallel arcuate ridges with the axes directed toward the northeast. A trough 5,000 to 4,500 meters deep divides the ridge into two, an inner, Western or **Ralik Ridge,** and an outer, Eastern or **Radak Ridge,** which is continued to the south as **Gilbert Ridge. Ralik Basin,** a large but shallow trough about 5,000 meters deep, is partially enclosed by Ralik Ridge. The western slope of the Marshall Ridge is relatively steep and merges into the sea floor at 5,500 meters. The differences in elevation between the top of the ridge and the sea bottom are about 1,500 meters. From the central part of the outer arc of Marshall Ridge, a series of crests and domes extends northwest to the southern extremity of Ogasawara (Bonin) Ridge. Wake and Marcus Island are part of this so-called **North Central Ridge.** Two or more shorter concentric series of crests and domes convex toward the northwest lie within the greater arc and partially surround the great Central Basin, formerly known as the Caroline Trench. The depth in the center of the basin reaches 6,000 meters. The shallowest depth in the **South Central Ridge** is 1242 meters, and the sea floor at this point is between 5.000 and 4,500 meters below sea level.

The submarine topography differs greatly in the eastern and western sections of the Pacific Area under discussion. In the western part of the area, in the Marianas, Yap and the Palaus, the ridges are well developed and commonly oriented in echelon with the convex face directed toward the east. On the contrary, in the eastern part of the area, of the Carolines, the Marshalls and the Central Group, the ridges lack clear definition and are represented by an aligned series of crests and domes, concentrically distributed with the convex face directed northeast. In the western area, the ridges present the characters of folded structures; in the eastern area, they present the form and distribution of a volcanic series. Professor Masatosi Yosii, who studied the rocks of the areas, made the significant statement that the ridges in the western area seem to be a part of a folded system and that though in the eastern area seem to belong to a

fractured system. Furthermore, the ridges in the western area structurally resemble those on the eastern margin of the Asiatic Continent; the ridges in the eastern area resemble those of New Guinea, on the northern edge of the Australian Continent.

B Distribution of Islands, Reefs and Banks

(*See* Appendix Table)

The South Sea Islands formerly under Japanese mandate have been commonly divided into the Mariana, Caroline, and Marshall Groups. The division from a geomorphological and geological standpoint does not seem justified. The islands, reefs, and banks of the South Seas may seem to be indiscriminately dispersed over a wide area. On the contrary, they are distributed in a remarkably definite pattern along the major ridges. For that reason, the natural classification of the island groups is based upon the ridges and the ridge patterns. The following is my attempt at such classification: (Appendix Fig. No. 3, Appendix Table).

1 Western Area

On the West Mariana Ridge, only Aragane Reef and 25-Meter Reef rise above the surface. The Middle Mariana Ridge is outlined by ten volcanic islands and six reefs. Of these, the two reefs north of Esmeralda Bank were only recently discovered. All these islands and reefs are distributed along the arc known as the **North Mariana Group.** The northern extremity of this ridge is linked with the volcanic chain of Yuō-Zima. The East Mariana Ridge includes only limestone islands, Medinilla, Saipan, Tinian, Aguijan, Rota, and Guam, and four reefs or banks. The reef northeast of Saipan Island is recently discovered. Tatsumi Reef (Fig. 112) 6.8 meters at the shallowest point, is closely related to Tinian Island, but is separated from it by faulting. All of islands and reefs are aligned except 45-Meter Reef, to the east; together, they are known as the **South Mariana Group** or the Saipan Chain.

Hunter Bank, a submerged table reef, and Yap Proper with the closely related islands included within the same almost barrier reef, Ngulu Rise, and Ngulu Atoll are aligned from north to south along East Yap Ridge. Together, they are known as the **Yap Group.** No island, reef, or bank rises above the surface on West

Yap Ridge or on East Palau Ridge. From north to south on Palau Ridge (Fig. 3) on the western margin of Palau Trench are strung Velasco Reef, the coral islands of Ngaruangl and Ngajangel, the numerous volcanic and elevated coral reef islands of the Palau Islands, 16-Meter Reef, and Angaur Island, an elevated coral island, outside the barrier reef which surrounds the Palau Island Proper. Together, they form the Palau Group. Parece Vela Ridge, (Douglas Ridge) forms the foundation of the coral island of Oki-no-Tori-Sima, an isolated island rising far to the north, Lat. 20° 20′ N., Long. 136° E.; it is here included with the Palau Ridge in the Palau Chain or the Palau Group in the widest sense.

Six small coral islands, which make up the **Tobi Group,** are distributed on the elevation south-southwest of the Palaus and known as the Tobi Ridge. They form two short chains of islands. Fana, Sonsorol, Pulo Anna and Tobi Islands are on the inner and western chain, and Merir and Helen Reefs are on the outer and eastern chain.

The study of the nature and character of the ridges indicates, however, that the South and North Mariana Islands should be united into a single **Mariana Group** and that Yap, Palau and Tobi should be united under the **Yap-Palau Group.**

2 Eastern Area

On the West Caroline Ridge an elevated coral island (Fais), 20 coral islands, and 38 reefs and banks are aligned West—East, Northwest—Southeast, and North-northeast—South-southwest. Together, they form the **West Caroline Group.** The volcanic islands, Truk, Ponape, Kusaie, and Nauru, an elevated coral reef island, and 19 coral islands are strung along the East Caroline Ridge and over the plateau in two linear series. The first series includes the volcanic islands and Nauru, and trends northwest to southeast around the Caroline Plateau; the axis of the second series passes through many of the coral islands at a low angle to the first. These islands are known as the **East Caroline Group.**

Ralik Ridge, in the Marshall Group, includes three parallel arcs strung with Jaluit and 12 other coral islands. Ocean Island, at the southern extremity of the ridge, is outside the former Japanese mandate. The islands are commonly called the Ralik Chain or the **Ralik Group.** Radak Ridge, to the east of Ralik Ridge, also includes three parallel arcs from which rise Wotje and 17 other coral islands and one bank (Keats Bank). Together, they form the Radak Chain or

Radak Group. Five coral islands are built on the great arc of the Central Ridge, and are grouped in the Central Chain or **Central Group.** Marcus Island, Lat. 24° N., is outside of the torrid zone, but is included in the group because of coral growth. Wake Island is under the jurisdiction of the United States, and Taongi, Bikar, and Ailuk Islands previously referred to in the Radak Chain are now included in this group. These two banks, 504-Meter Bank and 283-Meter Bank, are placed in the North Mariana Group. Three crests in the Central Ridge, 1,016-Meter Crest, Long. 145° 30′ E. east of Bonin Island; 968-Meter Crest, Lat. 150° E., west of Marcus Island; and 957-Meter Crest, Lat. 161° E. east of Marcus Island, are not similar to those found on other ridges. It is possible that many other crests may later be discovered on this same ridge.

The above mentioned islands may be now classified as follows:

South Sea Islands

- Western Group
  - Mariana Group
    - North Mariana Group
    - South Mariana Group
  - Yap-Palau Group
    - Yap Group
    - Palau Group
  - Tobi Group
    - Sonsorol Chain
    - Merir Chain
- Eastern Group
  - Caroline Group
    - West Caroline Group
    - East Caroline Group
  - Marshall Group
    - Ralik Group
    - Radak Group
  - Central Group

C Characteristics of Islands and Foundation Rocks

1 Outline of Geomorphology

a North Mariana Group

From the Middle Mariana Ridge, the following volcanic islands are in sequence from north to south; Uracas (Pajaros), (Fig. 7) Supply Reef, Maug, Asuncion, (Figs. 5, 8) Agrihan, Pagan, Alamagan, Guguan, Zealandia, Sarigan, Anatahan, and Esmeralda Bank. Dormant and active volcanoes are distributed through the group. Uracas Volcano is smoking now and new lavaflows reach the foot of the somma wall, Asuncion Volcano and the Esmeralda Submarine Volcano were smoking in 1937. With the exception of Maug and Sarigan, the rest of the volcanoes are effusing sulphurous gas, and steam is rising from fissures in the crater walls. Hot springs, tracing their sources back to Pagan, Alamagan and Anatahan Volcanoes, gush forth on the coasts. The volcanoes are built up from an alternation of andesitic or basaltic lava, agglomerate and tuff. Fresh lavaflows are evident within the craters and on the atrio plain of Pagan Island.

All islands of the North Marianas have a similar history. A few of the islands are built of a single volcano, but in most of them, more than one cone may be traced. In North Volcano, on Pagan Island, 10 lateral cones are recorded (Fig. 6), but this phenomenon is unique.

Most of the volcanoes are of the Konide type. The exposed parts of Anatahan and Maug are Homate, (Fig. 4) but if the outline of the submerged cone is also considered, they too are Konides. The central cone of Sarigan Volcano and one of the central cones of South Volcano on Pagan Island are Tholoide. All central cones maintain their initial forms. Cinder cones and horizontal lavaflows may be seen on the crater floor and walls of many of the volcanoes. Most of the sommas are in a young stage of erosion, but a few are in early maturity. Wherever the lava reaches the shore, abrasion along the fissures may give access to the sea and a furrow may be formed. Radial valleys are developed only on the large volcanoes and are provided with temporary rivers. Two crater lakes are formed on the western slope of North Volcano on Pagan Island. The water of the lakes is in

communication with the sea, and the water level of the lakes and of the sea are same.

Agrihan Island, the highest point along the ridge, rises to 965 meters above sea level; Asuncion Island reaches 891 meters. If the height above the sea floor is considered, both Agrihan and Asuncion would approach 4,000 meters and exceed Mt. Fuji in elevation.

Except for Maug Island, the shores are little indented. Cliffs are being cut along the coasts of all the volcanic islands. The high cliff on the coast of Maug Islands are due to a crater wall. Coastal plains are forming on Pagan and Agrihan Islands, but there is scarcely a trace of them on the other islands; a wide boulder zone commonly extends almost to the foot of the cliff or to the fronts of the small valleys dissecting the cliff. In the northern islands of the group, in Uracas (Fig. 7), Supply and Maug Islands, the steepest slopes are on the west side; in the other islands, for example, in Asuncion (Fig. 8) the slopes are steepest on the east.

Evidence of recent elevation may be seen in the abrasion bench fringing Maug Island 1 meter high above sea level at high tide. The crater of Maug Volcano, however, has been drowned and forms the lagoon (Fig. 4). Masses of reef building corals are included in the agglomerate which makes up the lateral volcano in the southern foothills of North Volcano; and that forming the somma on the southern slope of North Volcano overlies an elevated reef. The reef outcrops in the embayment on the eastern coast, 2 to 1 meters above the present reef flat or 0.5 meters above high tide level. The limestone is composed chiefly of reef building corals and is known as the **Pagan Limestone**. It is probably of Late Pleistocene Age.

With the exception of a ropy lava, the beach deposit and recent limestone are the youngest formations in the North Marianas. The beach deposit is best represented in Pagan and Agrihan Islands and forms the small coastal plain. It is composed chiefly of andesitic sand and gravel and gravel plus coral sand and gravel. In Pagan Island, sand dunes to the height of 5 meters, are added to the sands and gravels. The **Recent limestone** develops only on Pagan Island and includes the so-called beach sandstone and beach conglomerate. It outcrops below the sand beach and is beautifully stratified with 10° seaward dip and a miniature cuesta topography. The truncated surface of the cuesta is 30 cm above the reef-flat. The upper horizon is of sandstone; the lower, of conglomerate.

Both horizons contain not only andesitic and basaltic gravels, but also abundant sand and gravel derived from coral and Foraminifera and in the process of being cemented into limestone.

Numerous small holes, especially dense at the hight 2 to 3 meters above sea level and almostly arranged haphazard, penetrate the rock surface adjacent to the sea-cliff and give it a honeycomb appearance. The holes may represent the work of boring shells, but they are at considerable elevation above sea level and relatively shallow. Possibly, they are the result of wind erosion.

Although there is little concrete information, the topography indicates an earlier rather large scale subsidence. No evidence of drowned valleys has been detected, but studies of the submerged slopes indicate a furrowed zone in Uracas, Maug (Fig. 4), Asuncion (Fig. 5), Agrihan, Alamagan, and Anatahan, and suggest radial valleys on the flanks of a possible forerunner of the present volcano. The author has previously reported, from Japan Proper and Formosa, remarkable submarine valleys as much as 700 meters in depth in Tōkyō Bay, Toyama Bay and offshore of the mouth of Kusiro (Kushiro) River, Hokkaidō. A similar type of submarine valley though smaller in scale and less clearly defined because of the small size of the islands and the poorly developed insular shelf, is probably displayed in these North Mariana Islands; the deepest trench, that on Asuncion, may be traced to a depth of 700 meters.

b South Mariana Group

The South Marianas are essentially limestone islands built at spaced intervals along the East Mariana Ridge. The foundation rocks are of igneous origin and there is evidence of volcanic activity as late as the Oligocene. Both topographically and geologically, the islands are, in general, similar to each other. The coast lines are poorly indented as in the North Mariana; there are arcuate embayments of the fault depression type, but poorly developed Lias type embayments. (Fig. 10)

Most of the limestone coasts are cliffed and the cliffs are commonly notched (Fig. 11, 12) or cavernous; they rise to 180 meters in Guam and to 130 meters in Saipan. The coastal plains face the sea and are sandy or locally gravelly, and poorly developed except for that on the western shore of Saipan. As a rule, the sea-cliffs are on the east coast and the widest beaches on the west coast.

Mutcho Pond and Charankanoa Marsh are depressions on the sandy coastal plain of Saipan.

In limestone areas, most of the streams are seasonal and there are little valleys cutting; as a matter of fact, valleys are lacking completely on Medinilla, Tinian, and Aguijan. Even on Saipan and Guam, they are less numerous than on the dominently volcanic islands (Fig. 16). Cross sections of the valleys in the limestone areas are vertical; in the volcanic areas, they are V-shaped on both the eastern and western slopes of Saipan, submarine valleys are traceable to a depth of 500 meters. On Rota and Tinian Islands, also, depressions which seem to be submarine valleys may be traced to a similar depth.

Karst topography is characteristic of limestone areas in warm climates, and is best developed on the lower terraced surfaces. The jagged Karst called Lapié may be seen on all the islands but, not on a large scale. Limestone caves, also, are common to all the islands; Kalapera Cave in Saipan and Kamui Cave on Rota are especially well known. Dolines are typical of Guam and Saipan (Fig. 16), but on Rota, Aguijan, and Medinilla Islands, they have not been recognized. The substantial development of Karst in the phosphate mine on Saipan is exceptional. Marpo Pond, on Tinian, a Doline-like structure, may be the remnant of a former lagoon. Badland topography in place of Karst is displayed in the agglomerate and tuff areas, especially in the non-calcareous zone on southern Guam. It is also characteristically developed on a smaller scale on the eastern slope of Radio Station Hill (Densin-Yama) on Saipan, the walls are steep, the ridge-line is knife edged, and the badland terrain of the broad level floor in the valley head basin is best exhibited at this point. The entire badland is reddish brown, and laterite and bauxite are in process of formation.

The mangrove is a useful indicator of climate and soil. It is a tropical plant not found on Medinilla, Tinian, Aguijan, or Rota, and rarely on any limestone soil. It thrives, however, in the non-calcareous areas in southern Guam, especially on the protected coasts of Apra and Merizo and there is a mangrove swamp in the small embayment of Sadokutashi in Saipan.

The best evidence of elevation in fairly recent time is offered by the terraces and notches. The development of the terraces is especially remarkable. The number developed between the reef-flat and the upper level differs with the island. Three terraces have been discerned on Medinilla Island; 14 on Saipan (Fig. 15);

9 on Tinian (Fig. 13, 14); 8 on Aguijan (Fig. 114); 14 on Rota (Fig. 113); and 13 on Guam (Fig. 10). From an overall study of the age of the surface formations, the character of the surface whether erosional or depositional, the dissection, continuity of terrace scarp line, etc., the terraces may be classified according to age as follows: PM, Pre-Mariana Terrace; M, Mariana Terrace; P, Peleliu Terrace; and PP, Post-Peleliu Terrace. The height and correlation of the terraces are shown in Table No. 1. A detailed discussion of the classification and correlation will be as follows, but it is important to note that all surfaces lower than 130 meters on Saipan and all surfaces of Tinian, Aguijan, Rota and Guam should be discriminated from all surfaces higher than 200 meters on Saipan.

The oldest terrace, PM, is recognized only on Saipan; the younger terraces, M, P and PP, are highest on Rota, and the elevation lowers gradually on the islands to the south and north. P-Terrace and PP-Terrace are at lower horizons and symmetrically surround Saipan, Tinian, Rota and Guam. M-Terrace, which is older than P-Terrace and PP-Terrace is at a higher elevation and is not necessarily uniform in its distribution from east to west or from north to south.

One to 3 notches cut in many of the sea-cliffs also attest a former elevation (Fig. 11). The lowest notch is at surf level; it is being continuously cut back and may develop into a double notch (Fig. 12). The sea level notch is commonly deeper than those above it and may extend inward 2 or 3 meters, and may be connected with the sea caves (Fig. 54. A). The middle notch is, as a rule, 2 meters above the present reef-flat. The maximum elevation for that notch is seen in the South Marianas. The upper notch is less uniformly developed and may be 5 to 10 meters above the reef-flat. That of Guam is 20 meters above the reef-flat.

Sea caves at two levels such as on Medinilla, Saipan and Tinian Island are relatively rare, but are excellent evidence of uplift.

Drowned valleys are so rare (Fig. 10) and so obscurely defined that they offer little evidence of downward tilting, but a downward movement is indicated in the abrasion platforms along the cliffed shores. They are generally narrow at the base of limestone cliffs but wide at the base of volcanics, especially of agglomerate and tuff. Near Umatac, on the western coast of southern Guam, the abrasion plane is approximately 100 meters wide (Fig. 18). The ratio between the height of the sea-cliff and the width of the abrasion plane seems fairly, but not uniformly constant.

Table No. 1

Correlation table of Terraces in the South Mariana Group

Terrace		Medinilla	Saipan	Tinian	Aguijan	Rota	Guam
PM_1	I		460 m				
	I		440				
	II		350				
PM_2	III		300				
	III		250				
	IV		200				
M_1	V					500 m	410 m
	VI					480	370
	VII					420	300
	VIII					340	240
M_2	IX			170 m	180 m	240	180
	IX	80 m	130	150	160	180	150
	X	50	90	110	150—130	140	120
	X		60	80	110— 90	100	90
	X		40	60	80	80	60
	XI	20—15	30	45	45— 40	60	
P	XII		20	25	30— 20	40	35
	XII					20	20
	XII			10	10— 8	15—10	10— 6
PP	XIII		5			5	4
	XIV		2	2		3	2

(Numbers indicate the approximate height)

c Yap Group

The Yap Islands, rising from Yap Ridge, on the west wall of Yap Trench, include Yap Proper, Tomil, Map and Rumung Island, and also the numerous small islands enclosed within the continuous barrier reef. During under the German administration, Tomil Island was cut off from Yap Proper by an artificial canal (Tagaren Canal) (Appendix Fig. No. 5).

The highest point of the islands is 178 meters high. The coasts are widely and deeply indented and many small subordinate islands are dotted in the embayments. These embayments maintain the form of dendritic drowned valleys. One of the best examples is offered in Yap or Tomil Bay (Fig. 19, 20) and at the entrance of Yap Harbour, where is a valley in valley, 30 meters deep, it is formed and is traceable to a depth of 70 meters. The drowned valley floor toward the head of the bay slopes gently down to 45 meters and the lower part presents a hanging valley sloping steeply to the sea.

The sea-cliffs of the Yap Islands are not comparable to those in the limestone zone of the South Mariana Group, but, though thinly protected by mangrove trees they form the headlands, and are at the back of the coastal plains. The height may exceed 10 meters. The bases of the cliffs are either obscurely or not at all notched.

Most of the rivers drain into the heads of the drowned valleys and most of the valleys are consequent, originating in the central divide of Yap Proper; there are, however, 2 or 3 subsequent valleys. In cross section, the upper valley is an open U with little valley cutting. Rapids and pools alternate in the V-shaped middle valley. In the lower valley, the streams meander and cut into the coastal plains to a depth of approximately 1 meter. The short streams crossing the terraces form rapids and gorges in the lower valley only; they have not deepened in the upper valley and draw a rather straight course between the marshes. Badland topography at the valley heads is displayed in the watershed of the volcanics of Tomil Island.

Six levels may be distinguished in the Yap Islands. No. 1, the upper level, seems to be the remnant of a peneplain (Fig. 21, 22), and there is no concrete evidence that the upper surface was terraced after peneplanation. In view of their distribution and character, all levels except No. 1. namely, the 140 meter, the 80 meter, the 40 meter and the 10 meter levels should be classed as terraces. The lowest (No. 6) level (2 meter) is the depositional surface of the coastal plain and differs characteristically from the Nos. 3, 4 and 5 levels which form erosion surfaces in the middle part of the slope.

d Palau Group

The Palau Group, rising along the Palau Ridge on the west wall of the Palau Trench, includes in a strict sense, only those Palau Islands encircled by the barrier

reef (Appendix Fig. No. 8). The northern Palau Islands such as Babelthuap, Koror, Malakal and Arakabesan are largely volcanic. The southern islands, Aurapushekaru, Urukthapel, Eil Malk, Peleliu and many others are built of coral reef limestone. The total number is approximately 300. The topography of the northern volcanic islands and the southern limestone islands differ fundamentally and will be discussed separately.

Volcanic area The highest point of the Palau Ridge is Mt. Garagaragusu (Makeruru), 240 meters in elevation. The coasts of the volcanic area are serrated and the east coast is less indented than the west. Embayments, peninsulas, and subordinate islands are numerous. The embayments are subjected to the pattern created by the drowned valleys. Ngatpang Bay, 40 to 60 meters deep, is typical and its drowned valley is traceable for 90 meters.

As in Yap Island, the greater part of the coast, especially in the embayments, is protected by mangrove. However, cliffs over 10 meters high are commonly found behind the mangrove screen. In the headland areas unprotected by mangrove, such as the Ogiwal coast, they may rise to 40 meters. The bases are commonly nicked by shallow notches, and a few of the small islets resemble mushroom rocks for the base is entirely surrounded by notches. In general, the sea-cliffs are higher and of greater extent on the east coast than on the west. Coastal plains are best developed about 2 meters above the reef-flat on the eastern coast in the northern area where coconut trees are flourishing. No talus is evident at the contact between the coastal plain and the hill slopes.

Most of the numerous streams are permanent and continue to flow even in dry season. Some of the rivers serve as a source for piping water. The important valleys show a unique pattern and some of them suggest subsequent valleys. The longitudinal section indicates that the upper valleys are graded and that the river water stagnates and forms shallow lakes or marshes, such as Gerukaru Marsh and Garudokku Lake, 5 meters in maximum depth. These marshy lakes originate in dammed streams and differ entirely from those in the limestone zone. There are no rock outcrops. However, in the middle valleys, the water flows turbulently over rapids and falls and the bed rock is well exposed. In the lower valleys, the water loses its momentum and meanders through the flood plain with 2 to 1 meter deepening. A cross section coinciding with the above longitudinal section shows an open U-shaped valley in the head waters, a

V-shaped valley in the middle course and an open valley in the lower section. The badlands at the heads of the valleys and a knife edge topography characterizes the area where the heads of the valleys converge to form the watershed. Badlands like this have yielded good deposits of bauxite.

Babelthuap Island, at first view, looks like a peneplain 150 to 200 meters high, broken by a few isolated hills. Rois Arumonogui, Erusumu and other unnamed peaks are excellent examples of monadnocks (Fig. 23). However, a closer study reveals an obscure terraced topography, evidence of a series of former elevations. Apparently, the greater part of the peneplanation was modified by later terracing. Five levels may be discriminated: No. 1 at 240 meters; No. 2 at 100 meters; No. 3 at 40 meters; No. 4 at 20 meters (Fig. 23), and No. 5 at 2 meters. The No. 1 level is the peneplain mentioned above and the Nos. 3 and 4 levels are definitely terraces for they are floored in part by terrace deposits. The No. 2 level is doubtfully referred to the terraces for, although no direct evidence is offered, it corresponds in elevation to an apparent terrace in the limestone area. The No. 5 level is the depositional surface of the coastal plain.

A later sinking, at least of the coastal area, is indicated in the drowned valleys and the abrasion platform. Abrasion surfaces are, for the most part, better developed on the east coast than on the west; they may differ in width and normally occur at the level of the floor of the shallow notches. On the Ogiwal coast, the abrasion surface is 80 meters wide and rests at the base of sea-cliff, 40 meters high.

Limestone area The limestone outcrop is narrow and irregular. Where both limestone and volcanics are present, the limestone apparently surrounds the volcanics. It is deeply indented on the coasts facing the recent lagoon, but where facing the outer sea, it is comparatively simple.

Only a small portion of the coast is protected by mangrove forest and continuous lofty cliffs have developed along the shore. Notches 1 to 3 meters deep are commonly cut at surf level, and are, for the most part, more uniform than those in the volcanic zone. A second notch is cut farther up the cliff at an elevation of 5 to 7 meters. Not only on the coasts of the open sea, but also the lakes in limestone areas are notched, even though the lake may not be more than several meters in diameter. Some of the islets are worn down into mushroom rocks and the supporting columns may be so deeply eroded that the crowns are toppled over.

As in the volcanic area, sand beaches are poorly developed except on the inner shore of an embayment or on the coast of a small island, usually the west coast, which is shielded from the wind.

Much of the limestones are karsted and jagged lapié topography is widely in evidence, especially in the phosphate area in Peleliu Island. Limestone caves are fairly common and human remains have been discovered in them. Numerous elengated depressions parallel to the coast, some of them filled with water. They are generally shallow and all are saline. Such depressions may not all be dolines or poljés, but at least some of them may be so termed.

The step-like terrain is more distinct on the limestone islands than on those of volcanic origin, and the levels clearly represent reef terraces (Fig. 24, 25). The elevations may differ slightly with the individual islands, but the average height of the terraces is as follows: No. 1, 220 meters; No. 2, 120 meters; No. 3, 70 meters; No. 4, 50 meters; No. 6, 8 meters. For the most part, the elevations of the reef terraces and of the corresponding levels in the volcanic area coincide and offer the most convincing evidence for the terrace origin of the sequence of level surfaces in the volcanic zone. No. 6 and 7 terraces are developed

Table No. 2

Correlation table of Terraces in the Yap-Palau Group

Level surface \ Island		Yap	Palau Volcanic Area	Palau Limestone Area	Angaur (by survey of 1950)
Peneplain	I	180 meters	240 meters		
PM$_2$	II	140 〃			
	III	80 〃			
	IV	40 〃			
M$_2$	V			220 meters	
	VI		100 〃	120 〃	
			40 〃	70 〃	
	VII		20 〃	50 〃	46 meters
				30~20 〃	27 〃
P	VIII			8 〃	8 〃
PP	IX	2 〃	2 〃	2 〃	1.5 〃

only on Peleliu Island at the south of the group and on the islands adjacent to Peleliu. The second notch cut at 5 to 7 meters in the face of the sea-cliffs may be associated with the No. 6 terrace. The higher terraces dip slightly from east to west and it is noteworthy that the elevations of Nos. 6 and 7 terraces decrease gradually toward the north. The topography of Angaur Island, the southern-most of the Palau Group, closely resembles that of Peleliu Island, the southern-most within the Palau Barrier Reef, and their reef terraces also are similar.

Abrasion benches in the limestone area are extremely narrow, much more so than in the volcanic area.

e Tobi Group

Six coral islands; Fana (Fig. 26), Sonsorol, Pulo Anna, Tobi, Merir and Helen Island rise from the Tobi Ridge. Outcrops of the foundation rocks on which the coral reef is built have not been discovered.

f West Caroline Group

All islands included in this group are sea level coral islands except the elevated coral island of Fais (Fig. 69). The topography somewhat resembles that of Angaur Island in the Palau Group.

From a distance, Fais is a beautiful table land and was formerly considered an elevated atoll of elliptical outline, but it may be considered more properly an elevated table reef, for the surface is level with no depression suggesting a lagoon. Erosion remnants are in evidence only at a height of 3 meters.

Six levels may be discriminated on Fais. The upper four levels are reef terraces; the two lower make up the coastal plain. The uppermost terrace, No. 1, is represented by an erosion remnant only; the maximum elevation is 23 meters, 3 meters higher than the No. 2 terrace. The second terrace is 20 meters above the reef-flat and occupies the greater part of the island. Phosphate was deposited in considerable quantity on its flat surface. Since deposition, the phosphates have been concentrated, in large part, in the deep pockets of the lapié and are associated with Nos. 3 and 4 terraces. No. 3 terrace is a narrow band encircling the higher terrace. The contact is a gentle slope rather than a well defined scarp. No. 4 terrace occupies a narrow zone in the coastal area, 10 meters above sea level. Lapié topography is most evident in the No. 4 terrace, but is also con-

spicuous at the No. 3 level. No. 5 at 5 to 6 meters and No. 6 at 2 meters above sea level make up the coastal plain.

Cliffs are formed where terraces Nos. 2 and 3 abruptly face the outer sea. Notches are normally cut at the base of the cliff and also about 2 meters above the reef-flat, which is nearly equal to the level of the No. 6 terrace. The higher series may be etched into the cliff so far as 3 meters, but those at surf level are only about 10 centimeters deep. Notches are also to be seen locally at the height of about 5 meters above the reef-flat which is near the No. 5 terrace level and the upper level of the coastal plain. Two types of limestone caves are formed; one of them, as the result of abrasion at the present sea level; the other in the cliff face, 1.5 to 2.5 meters above the reef-flat, excavation presumably during the formation of the No. 6 terrace, the youngest of the coastal plain sediments.

g East Caroline Group

The East Carolines include Truk (Appendix Fig. No. 10), Ponape (Appendix Fig. No. 9) and Kusaie Island (Fig. 33); the country rock is, in large part, of volcanic origin and is the foundation of the coral reefs. The southward extension of the line passing through these 3 islands touches Nauru, an elevated coral island.

Relief is greatest in Ponape Island. Mt. Nana on Ponape Island, the highest point, rises to 787 meters. Mt. Crozer on Kusaie Island is 629 meters and Mt. Urikobosu on Truk Island is 452 meters in elevation. Dissection is most advanced, however, in Truk; Ponape is the least dissected of the three.

The level summit of Ponape suggests a lava plateau (Fig. 30, 31). On Kusaie, on the other hand, the Alpine type of highland suggests erosion. Both types of relief, the plateau type and the serrate Alpine type, are represented on Truk Islands, but the plateau type is prevailing such as best displayed on Ponape. The so-called Alpine type differs greatly from that presented in the temperate zone. Each pointed summit is covered by fern and no exposures of the country rock can be found. However, the crests, the so-called knife edge terrain, make difficult as to traverse on foot. The shore lines are deeply embayed. Small offshore islands are most numerous in the Truk Islands; least numerous off Kusaie. In Kusaie, 2 or 3 islands have been connected with the mainland through recent deposition and are now peninsulas.

The embayments represent drowned valleys and large rivers drain into their

heads. Lélé Bay in Kusaie is such a valley, and so are Ponape, Matalanim (Fig. 28) and Ronkiti Passages in Ponape Island. The valley in Lélé (Fig. 27) may be traced to a depth of 500 meters, and the depth in the middle part of the valley, is 30 to 70 meters; that of Ponape Passage to a depth of 100 meters, and the depth of the middle part of the valley is 50 to 80 meters. At the 70 meter depth of the dividing point between the middle and the lower part of the drowned valley in Lélé Bay, the lower valley falls steeply to 500 meters below sea level. In Truk the drowned valley may be traced to the lagoon bottom, about 40 meters below, but is lost beyond that point. The penetration of sea water in the valleys is highest in Truk and lowest in Ponape. In Truk, the penetration reached the saddle of the divide of the dissected mountain which was later submerged, indicating that a single volcanic mass broke down to form many islands (Appendix Fig. No. 10).

Mangrove forest protects most of the coast line in the 3 islands (Appendix Fig. No. 9). Unprotected headlands are cliffed and cliffs are out locally even on protected coasts. The coast lines of Yap and Babelthuap are similarly controlled, but the cliffs are higher in the Carolines and in Moen of the Truck Islands; in Jokaj Island of Ponape, they rise to 100 meters. A few abrasion caves, some of them containing deposits of bat guano, undercut the sea-cliffs. Such caves are seen on Pata Island in the Truk Islands and at the Tahonsaku Coast in Kusaie.

The extent of development of the coastal plain differs on the three islands; it is most advanced on Kusaie and least on Ponape. At the river mouths, the coastal plain merges with the flood plain. Little or no talus is evident at the contact between the coastal plain and the mountain slope. However, when the slope is cliffed, a talus piles up along the base. Generally, the coastal plain is lower at the foot of the slope and forms a marsh or occasionally a pond. This feature is well represented in Truk and Kusaie Island where shallow lakes are surrounded by mangrove forest indicating that they are relict lagoons.

Valleys are the most numerous in Kusaie (Fig. 33), least numerous in Truk. Only a few short valleys have been cut on Moen and Dublon Islands. The interior of Kusaie is deeply dissected, and the difference between the relative height and the altitude is very small. Most of the rivers are consequent; a few of the streams are subsequent. The streams are of two types. The head waters of the first type are gently flowing, but waters of the lower course are turbulent and characterized

by rapids and falls; Kapira River in Kusaie and Tokiwa and Nankui Rivers (Fig. 29) in Ponape are excellent examples. The second type including Tawenjokola (Tukuba) River in Ponape, and Fenkol River in Kusaie are relatively long river characterized by rapids and falls in the upper course, grading in the middle course and meandering in the lower course. The width of the floor plain in both types increases abruptly in the lower course and merges into the coastal plain. The flood plain on Kusaie is extraordinarily wide. On most of the plains, the streams have been able to cut to a depth of about 1 meter.

When the summit-level is observed in the plateau type or even in the Alpine type of relief, several level surfaces can be counted and among them the depositional surfaces of the lava. On Ponape (Fig. 31), those levels fall at about 750 and 500 meters. Except for these two surfaces, only the following may be classed as terraces: 100 meter terrace, 50 to 30 meter and 2 to 1 meter terraces on Truk; 100 meter, 30 meter (Fig. 32) and 2 to 1 meter terraces on Ponape; 30 to 20 meter, 5 meter and 2 to 1 meter terraces on Kusaie. The lowest, the 2 to 1 meter terrace, is clearly a depositional surface and is a part of the coastal plain. All the higher levels are erosion surfaces. Whether the erosion surfaces corresponding in elevation to the terraces were formed during the same period is not known. It is believed that they were contemporaneous. (Table No. 3)

Table No. 3

Correlation table of Terraces in the Eastern Group

Terrace \ Group		W. Caroline	East Caroline				Ralik
	Island	Fais	Truk	Ponape	Kusaie	Naur	Ocean
PM$_2$			?	?	?		
	I		100 m	100 m	100 m		
	II		50—30	30	30—20		
	III				5		
M$_2$	IV					67 m	82 m
						?	?
		23 m				?	?
P	V	20—15				?	?
	VI	10				?	10 ?
PP	VII	2	2—1	2—1	2—1	2 ?	2 ?

Notches are cut 2 meters above the reef-flat on coasts unprotected by mangrove, but they are discontinuous and are not comparable to those in the limestone zone of the Western Group. The nicks at a higher elevation are at the foot of a basaltic lava cliff in U (Fig. 34), Natto Districts of Ponape Island and in Moen of the Truk Islands. They are commonly interpreted as a result of abrasion, due to the textural differences in the rocks, i.e., the comparative softness of the agglomerate or tuff into which they are cutting; they may also be interpreted as a result of selective erosion by torrential storms. However, the notches in the basalt cliffs at 10 meters above the base in Moen Island of the Truk Group are clearly the result of abrasion. A basalt on which are adhering shells, coral, and *Lithothamnion* 2.5 meters above the reef-flat of the eastern shore of Moen Island. This is no doubt an evidence of recent elevation of the land.

h Ralik Group

Jaluit and 12 other coral islands make up the Ralik Group, but no outcrop of the foundation rock has been reported. By reason of its location, Ocean Island, south of Ebon Island, should be probably included in the group. In that case, Ocean Island would be the only elevated coral island in the Marshalls.

i Radak Group

No exposure of foundation rock is reported from Wotje or any other of the 16 coral islands in the group.

j Central Group

No outcrop of the foundation rock has been reported from any of the 5 coral islands in the Central Group.

k Summary of Observations

The coast lines of the South and North Mariana Groups are fairly simple. The embayments are shallow and the number of subordinate islands comparatively few. The coast lines of the Yap and Palau are deeply embayed with drowned valleys and many offshore islands. They are specially deep in the East Carolines; one valley on Kusaie shows an abrupt change in degree of slope at about 70 meters and reaches a maximum depth of 500 meters. If this break be taken as the

depth of the drowned valley, the approximate maximum depth in Palau is 90 meters; in Ponape, 105 meters; in Yap, 70 meters; and in Guam, 20 meters.

The unprotected sea coasts in all groups are cliffed. The highest, 180 meters, in Guam, is a limestone coast in the Western Group. 5 to 10 meter cliffs are commonly cut on coasts protected by mangrove forest and a maximum elevation of 100 meters may be reached. Notches at the base of the cliffs are most deeply and regularly cut in the limestone zone of the Western Group. Double notches are formed in the South Marianas and, about half way up the cliff wall, one or two shallow notches may be seen. The notches at the upper part of the lava cliffs in the East Caroline Group are probably due to causes other than erosion.

Abrasion platforms with various widths are formed and are widest at the base of noncalcareous rocks in areas such as headlands at the line of direct attack of the waves; that of Guam reaches 100 meters.

Most of the streams in the limestone areas are seasonal; permanent streams are rare. In volcanic areas, the valleys are, for the most part, numerous, and are especially large in Kusaie. Most of the streams are consequent; some, especially in the Western Area, are subsequent. The valleys in the Eastern Area are meandering but they have not yet reached grade although these of Kusaie are close to it.

Typical karst topography is characteristic of the Western Area, where the limestone is widely distributed. In the Eastern Area, on the other hand, a lava surface dominates a wide area and tropical karst topography only on a small scale is exhibited.

The following types of lakes have been recognized:

a. Crater lakes (North Marianas).
b. Dammed lakes (volcanic zone in the Palaus).
c. Erosion lakes formed in dolines (Palau and the South Marianas).
d. Relict lakes, the remnants of lagoons (South Marianas, Palau and the East Carolines).

Peneplains are apparently developed on the higher levels in the Yap and Palau Groups and possibly in other groups. There is also evidence of peneplanation below the younger limestone in the South Mariana Group and the younger lava in the East Caroline Group.

Terraces are present in all groups, but they are better developed in the Western

Area than in the Eastern. Most of the terraces in the Western Area are reef terraces; they are more numerous, their elevations are higher, they are less dissected and maintain a fresher outline than those of the Eastern Area in which dissection is so far advanced that the terraces are discontinuous. In the Western Area, the terraces are best developed in the South Marianas, especially in Rota and Saipan (Fig. 15), next in Palau and Yap, and least in the North Marianas. The terraces on Fais Island in the West Caroline Group are exceptionally clear and closely resemble those of the South Marianas and of the southern islands of the Palau Group. The lowest terrace is a level surface including the coastal plain and abrasion bench and is consistently developed at a uniform height of approximately 2 meters.

The topography clearly indicates alternate crustal movements, elevation and subsidence. Elevation was apparently dominant in the Western Group; subsidence, in the Eastern Group.

2 Outline of Geological History

a **Distribution of the Older Limestones** (Table No. 4)

The various phases of the geology of the islands were studied in detail in the preparation of this report, but since the report is concerned primarily with coral reefs, only those aspects will be stressed which may increase our knowledge of the ancient reefs and their environment.

There is no record of a pre-Tertiary limestone. The oldest rocks both in the Eastern and the Western Areas are of igneous origin. At the beginning of the Tertiary, however, liparite and later andesite were erupted on the shallow sea floor. Other volcanic effusives, ash, sand, gravels, blocks and several lava-flows were also thrown into the sea. Due to the fact that the waters were warm, the corals accelerated by favorable conditions thrived and formed fringing reefs on the water laid volcanics. Corals are associated with volcanic effusives in Palau (Garudokku Beds) (Fig. 61) and alternate beds of limestone boulders and volcanics were laid down in Guam (Santa Rosa Beds) and in Saipan (Asuberudedo Beds) (Fig. 35). During the middle Eocene, the sea bottom was deepened somewhat and coral growth no longer flourished.

In the late Eocene, however, the shallow sea bottom was elevated, the land denuded and the debris deposited in the form of boulder beds on the shallow sea floor on which the corals had again begun to build. Meanwhile, volcanic action was almost continous and alternating gravel, tuff and foraminiferal limestone in which was included reef building corals, were deposited in the shallow sea and recorded in the so-called Matansa Beds (Fig. 38) of Saipan and the Mariiru Beds of Rota. The closely related Densin-Yama Beds of Saipan includes in the middle horizon (Fig. 38, 39), a fine-grained calcareous conglomerate containing fossil of sea turtles and reef building corals such as *Saipania tayamai.* The uppermost horizon is a sandy tufaceous limestone carrying *Camerina* and *Discocyclina* and a small plant bearing lens. Similar conditions prevailed and corals continued to build in the South Marianas till the close of the Eocene.

Throughout the Eocene, however, coral growth was interrupted by sand and gravel washed down from the land, conditions reflected in the discontinuous and lenticular character of the upper Eocene limestones carrying the guide *Discocyclina, Camerina.*

The middle Tertiary marked the first recorded period of extensive coral development and the first dim record of limestone in the Eastern Islands. Reefs covering wide areas are represented by the Laulau Limestone and the Donnay and Tapotchau Limestones of Saipan (Fig. 42, 44, 45); and their equivalents on Tinian (Fig. 43), Rota and Guam. During this period, volcanic activity, though reduced, was not dormant and is recorded in the effused volcanics of the Marianas, the Donnay Beds and the Alumongui and Tomil Agglomerates (Fig. 60) of Palau and Yap. Toward the close of the Miocene, important block movements in the South Marianas separated the land into islands and the islands were broken and pushed into tilted blocks.

Coral reefs may have developed on the slopes or on the submerged summits of the volcanic islands of the East Carolines during the mid-Tertiary and, as the land subsided, may have been transformed into barrier reefs and atolls, but there is little evidence further than fossiliferous limestone pebbles.

In the middle and later-Tertiary and post-Tertiary, the calcareous rocks play an increasingly important role in the construction of the islands. Dissolution and crystallization, as a rule, work more actively on older limestones. For that reason, coral species and even coral structures are more difficult to identify in the older

limestones, but it is improper to conclude that a true coral reef is not represented. There are, to be sure, exceptions such as the structure in the mid-Tertiary (Fena) beds of Guam in which the corals have maintained their original attitudes.

One of these limestones consists primarily of *Halimeda* and secondarily corals, deposits indicating a cooler sea. Such deposits are represented in the Carolinas Limestone in Tinian (Fig. 43) and the Nafutan Limestone in Saipan (Fig. 42). Corresponding beds exist on the Palau Islands but the facies differs; the beds are lignitic with coniferous plant fossils of Pliocene age (Fig. 62). The other five limestones consist mainly of reef building corals, deposits of a warmer sea.

Five limestones are of particular importance in the Western Area, primarily in the South Marianas and secondarily in Palau. They are from the younger to the older: Younger Raised Coral Reef Limestone; Older Raised Coral Reef Limestone; Mariana-Palau Limestone; *Nephrolepidina* limestone; and *Eulepidina* limestone and its equivalents. The two oldest limestones are restricted in their known distribution to Saipan, Tinian and Rota. The Mariana Limestone covers the southern half of Saipan (Fig. 48); the northern half of Guam (Fig. 53) and most of Tinian (Fig. 51), Rota (Fig. 49) and Aguijan. It has not, however, been recognized on Medinilla Island. It is commonly porous, unstratified, white, light yellow or light brown and light reddish near the base. It consists chiefly of coral limestone formed of various reef building corals which retain their original structure and associated fossil shells. Locally, a basal conglomerate and sandstone may be deposited and rarely a clay bed may be intercalated (Fig. 50). The reef building corals, *Acropora* and *Montipora* may make up almost the entire basal bed. The Mariana Limestone closely resembles the Ryūkū Limestone on Formosa and the Ryūkū Islands and the Daitō Limestone on Daitō-Sima. The Garim Limestone, the synchronous formation in Yap is relatively unimportant but it forms the greater part of the Garim and Irikku Islands off southern Yap. It is white and hard, and in it *Halimeda* is second only to the corals. The Palau Limestone (Fig. 62), the most widely distributed rock in the southern Palaus, resembles the Mariana Limestone in essential characters. It overlies the Airai Lignite beds almost horizontally (Fig. 119) but the Alumongui Agglomerate (Fig. 118), with marked unconformity. The basal bed, a coral conglomerate, is brown or reddish and contains *Acropora* and *Montipora* in great abundance. The higher bed is lighter in color than the lower and grades into a pure white limestone, contain-

ing a molluscan as well as a rich coral fauna. The dip is approximately 10° seaward.

In the Eastern Area, only Fais displays a comparable distribution of limestone. The Caroline Limestone which floors the No. 2 terrace, and in which *Halimeda* is the dominant organism and the Fais Limestone which floors the Nos. 2, 3 and 4 terraces and in which *Halimeda* is subordinate to the coral fauna, may be the time equivalents of the Mariana Limestone. In most of the Eastern Area, the age of the Caroline Limestone was a period of marked volcanic activity.

The Older Raised Coral Reef Limestone closely resembles the Mariana Limestone and its equivalents both in lithology and in fossil content (Fig. 54, A, B). On Saipan, *Halimeda* is more abundant than the corals, but in the limestone of the other South Mariana Islands, *Halimeda* is subordinate to the corals. The corals are more commonly erect in the Mariana Limestone and on Tinian, a conglomerate with a lateritic matrix is intercalated between the Mariana Limestone and the Older Raised Coral Reef Limestone (Chatcha Limestone) (Fig. 51). The synchronous bed is lack in Yap and in the Palaus, Pelilieu Limestone is the synchronous bed (Fig. 63).

The Younger Raised Coral Reef Limestone is the lowest reef terrace in the Western Area (Fig. 53, 54, 55). It maintains an approximately uniform elevation of 2 meters above the surface of the reef-flat although on Rota, Guam, Gaferut, Truk, Ant and Taongi, both the limestone and the mushroom rocks which originated in the limestone are 3 meters above the reef-flat. It is known by various names: the Tanapag Limestone of Saipan which contains *Lithothamnion* in abundance and corals which have retained the attitudes in which they grew; the Dankuro Limestone of Tinian (Fig. 66); the Mirikattan Limestone of Rota (Fig. 68); and the Merizo Limestone of Guam (Fig. 54, A). The Merizo Limestone includes locally a basal conglomerate of coral gravel (Fig. 53) overlain by a limestone in which the corals, in large part, *Porites,* are in a vertical position. The Paleliu Limestone floors the No. 6 terrace (Fig. 63) in the southern Palaus. It decreases in elevation northward and disappears in the vicinity of Eil Malk. It is primarily a *Halimeda* limestone and may be synchronous with the Older Raised Coral Reef Limestone rather than with the Younger. The slightly younger Ngarekeukl Limestone is similar in lithology to the Peleliu and like it, is restricted to the southern Palaus. The coral fauna is relatively more abundant, however, and the corals more commonly erect. A possibly synchronous limestone is well developed on Truck and is also present

on Ponape and Kusaie. The relict mushroom rocks, 3 to 2 meters above the reef-flat may be a mass of a single species of *Porites.*

The elevated beach deposits are also, in large part, calcareous. They include gravel, sand and sandy clay containing foraminifera, *Halimeda* and corals and shells; these same materials make up the coastal plains and locally the dune sands. They overlie the Younger Raised Coral Reef Limestones; and are extensively developed on all the islands in the South Mariana Group with the exception of Medinilla and Aguijan; an outcrop of the elevated beach deposits in horizontal contact with the Younger Raised Coral Reef Limestone on the Umatac Coast of Guam (Fig. 55) displays the vertical position of the *Porites* in the lower bed. On Yap and the Palaus also the elevated beach deposits form the coastal plain. The deposition surface is, as a rule, 2 meters above the reef-flat, but in Peleliu a sand dune 10 meters high is built up. Similar deposits form the Nos. 5 and 6 terraces in the West Carolines, but in the East Carolines partially decomposed plants make a tropical tundra in the coastal plains and marshes of Truk and Kusaie. Coral and foraminiferal sand and gravel, however, are distributed along the seaward margin of these same coastal plains.

The recent limestone presents some special problems and is considered at some length.

b Recent Limestones

Recent limestone includes beach sandstone and beach conglomerate. It is widely distributed in both the Western and the Eastern Areas and is associated with all reefs from fringing to table reefs.

Beach sandstone is deposited, for the most part, on the lagoon coast and the outer shore in front of the sand beach where there is little wave action. Beach conglomerate is formed, for the most part, on the ocean side especially in front of the gravel beaches near boulder ridges. The two deposits are similarly distributed and are geomorphologically the same.

Beach sandstone or foraminiferal limestone consists primarily of foramiferal sand and beach conglomerate or coral limestone of coral pebbles. Both are almost exclusively calcareous and both especially the sandstone, are clearly stratified. Stratification is not only according to grain size, but also according to the degree of induration. The usual dip is 5° to 10° seaward coinciding with the slope of

the beach (Fig. 128, 137, 146). A few of the sandstones are horizontal (Fig. 101) and some of them dip landward, for example in Losap (Fig. 135) Knox, Eniwetok and Ujelang. Local cross bedding may also be developed (Fig. 136). The strike usually parallels to the coast line; in a few localities, it is oblique to the coast and rarely at right angles to it. When the islet is small, the dip is away from the center of the island.

Small scale lapié topography is etched out on both the sandstone and conglomerate. Pot-holes and small eroded furrows, especially on the sandstone, parallel to the dip .When the sandstone and conglomerate are inclined, a miniature cuesta topography is displayed (Fig. 137) and the beds at the outer margin of the cuesta overlap like the banks on a reef-flat. Occasionally the base of the sandstone or conglomerate is exposed due to the underwash of the sand and gravel which forms the coral islets. When thus exposed, the relationship of the strata is clearly evident and the following attitudes have been observed:

a. the truncated surface of a single anticline; examples, Kechautsu Cay, Wotje Atoll (Fig. 138), Nomwin Atoll: **b**. the truncated surface of a single syncline; example, Erikub Island (Fig. 139): **c**. horizontal bedding; examples, Toanbuku Island, Etal Atoll.

Beach sandstone may also develop around mushroom rocks (Fig. 66) in the notches carved in the Younger Raised Coral Reef Limestones and on the limestone slopes, for example, the Chatcha Coast of Saipan in the South Marianas and in Truk. Sandstone similar to the beach sandstone is deposited on the floor of the lagoon on Rota Island (Fig. 140).

Some of the beach sandstones and beach conglomerates on the inner reefs of fringing, almost barrier, barrier reefs and almost atolls include not only calcareous material but also andesite and basalt gravels, and some of the beach conglomerates on isolated reefs of almost atolls include a substantial amount of basalt gravel. A non-calcareous beach conglomerate occurs on Yap and a beach breccia on Truk. Fragments of earthenware are contained in the uppermost bed of the beach sandstone in the South Marianas.

The cay sandstone which also includes a conglomerate and, on Gaferut, reddish brown clay lenses (Fig. 105) as well, is closely related to the beach sandstone and beach conglomerate. On Kwajalein (Fig. 144), the lower bed of the beach sandstone merges directly into cay sandstone. However, both the beach sandstone

and beach conglomerate are covered by sea water at high tide, but the cay sandstone is laid down above the high tide level. Like the beach sandstone, many of the cay sandstones are tilted (Fig. 143) though most of them are horizontal (Fig. 141, 142, 146). No good contact has been observed between the horizontal cay sandstone and the tilted beach sandstone and some of the beach sandstones seem to be younger than the cay sandstones. Unconformable contacts within the beach sandstones are rare, but have been recognized (Fig. 145, 148, 149).

Beach sandstone, beach conglomerate and cay sandstone are all of them compact at the surface but with increase of depth, they tend to become porous (Fig. 105). Only the cay sandstone is phosphatized by bird guano (Fig. 142), probably because it lies above high tide level. Most of the phosphate is contained in the compact top layer which in the cay sandstone, alone, is beyond the reach of the tide. As the phosphatic content decreases with the increase in depth, the layers become increasingly less compact and finally nothing more than loose sand and gravel.

Coral gravel, on the inner zone of a reef-flat, is in process of cementation. It may be interpreted as an uncompleted beach conglomerate or as a stage in the breakdown of a coral limestone. In beach sandstone and conglomerate, the materials are extremely coarse and only partially cemented so that it is difficult to determine whether the stage is constructional or destructional. Sand and gravel beaches in other areas are all loose and not even partially cemented.

The upper layer of the Younger Raised Coral Reef Limestone on Guam is formed of coral limestone and the lower layer of a horizontal coral conglomerate (Fig. 53). A deposit of tilted beach sandstone is subjacent to the notches in the coral limestone (Fig. 54. B). The coral conglomerate closely resembles the cay sandstone and conglomerate and the distinction between them is difficult to determine. If beach sandstone is deposited after the upper coral limestone is eroded, the beds are very difficult to distinguish from an outcrop of beach sandstone overlying cay sandstone.

Beach sandstone and conglomerate are the products of a very young age. They are calcareous so they may be included under the general term of "recent limestone". However, a doubt still remains as to whether, at the present time, they are actively forming on the beach, although they were certainly formed in a recent geological age. Possibly, today, destructional phenomena may be dominant

over constructional phenomena. Sandstone and conglomerate tilted seaward are closely related to the recent deposits on the coral islets of today. On the other hand, those striking at right angles to the beach line and those tilted landward are not related to coral islets of today. The only reasonable interpretation seems to be the migration of the cays due to wind.

Their distribution and character, however, indicates that fresh water in the form of rain may also play an important role in forming and cementing beach sandstones and conglomerates. Those on Rota which occur below the water level of the lagoon do not seem to conform, but the lagoon is narrow and only about 2 meters deep and the beach deposits may have formed on the beach line some time ago with fresh water as the active agent. Later subsidence must have occurred and the beds were submerged below water level. A study by Ryōsiti Komukai of the younger limestones indicated that the percentage of dolomitization might be an index to their relationships.

Sequentially from older to younger, they are: a. limestone forming mushroom rocks and reef-flats (17.053—16.369 percent); b. recent limestone (6.897 to 3.030 percent); c. boulders and living corals (below 0.533 percent). This finding coincides with the stratigraphic information.

c Correlation of the Beach Sandstone, Conglomerate and the Cay Sandstone

Younger Raised Coral Reef Limestones on limestone islands in the Western Area are distinguished geomorphologically and geologically from the Older Raised Coral Reef Limestones. Recent limestones are deposited at the bases of notches cut in the Younger Raised Coral Reef Limestones but in the Eastern Area the relationships are more obscure. The usual thickness of cay sandstone is 2 meters but it is 5 meters on Gaferut (Fig. 146). In view of the geomorphological features and elevation, it should be correlated with the Younger Raised Coral Reef Limestone in the Western Area. In the Western Area, the corals maintain their original attitudes, but in the Eastern Area, except on Jaluit Island (Fig. 88), the corals are preserved in blocks only. There is an excellent exposure on Guam which shows the relation between them. A horizontal bed of cay sandstone (coral conglomerate) is exposed at all tides on the outer coast of Cocos or Dano Island on an almost barrier reef in Merizo Bay (Fig. 147). On the opposite bank of Merizo

Bay, coral limestone composed largely of corals still maintaining their growth position overlies a coral conglomerate identical in character with the cay sandstone. This coral conglomerate and the coral limestone together are termed the Merizo Limestone or Younger Raised Coral Reef Limestone. Beach sandstone is forming on the beach line of the inner coast of Cocos Island (Fig. 148). It unconformably overlies a loose conglomerate covered by gravels, so the relationships are difficult to determine. The sandstone may be synchronous with the coral conglomerate of the outer coast. In other parts of Guam, beach sandstones are laid on the floors of the notches of coral limestone (Fig. 54 B). It is possible that the beach sandstone unconformably overlies the coral conglomerate in Cocos and may be correlated with the cay sandstone and beach sandstone of the cays in the Eastern Area. In short, the cay sandstones in the Eastern Area may represent a lower bed of the Younger Raised Coral Reef Limestone and are perhaps older than the beach sandstone and conglomerate. In view of the degree of elevation of the mushroom rocks, they too should be included in the Younger Raised Coral Reef Limestone. There is some evidence that mushroom rocks are a phase of beach conglomerate, and, on the other hand, beach conglomerates and sandstones are deposited on the floors of the notches of the mushroom rocks. This discrepancy may be explained if beach conglomerate including the mushroom rocks is regarded as cay sandstone including the conglomerate.

Numerous limestones which should be referred to the Younger Raised Coral Reef Limestones formed prior to the recent limestone are incorrectly placed under the recent limestone. The distinction is difficult between beach sandstones, including conglomerates belonging to the Younger Raised Coral Reef Limestone and beach sandstone, including conglomerates of the recent limestone.

Within the scope of present knowledge, all of the cay sandstones and mushroom rocks developing on coral islets are referable to the Younger Raised Coral Reef Limestone. Deposits formerly considered under the recent limestone, especially those with horizontal and landward dips are included. Future chemical research on percentages of dolomitization may serve to discriminate the two limestones.

3 Characters and Correlation of the Terraces

The Mariana-Palau Limestone in the Western Area and the Caroline Limestone in the Eastern Area are similarly characterized. Their deposition surfaces form the so-called reef terraces (correlation table of terraces and Fig. 15).

a Pre-Mariana Terraces

These terraces were formed prior to the deposition of the Mariana, Palau and Caroline Limestones. The 200-Meter Terrace and higher terraces on Saipan lie far above the maximum elevation (130 meters) of the Mariana Limestone. Furthermore, these terraces were not submerged during the deposition of the Mariana Limestone. On Yap Island, the terraces higher than 40 meters were considered Pre-Mariana. The absence of Caroline Limestone on the 3 volcanic islands in the East Caroline Group makes correlation difficult but upon comparing the degree of dissection, all terraces of the 3 islands, excluding the lowermost terrace, closely resemble the Pre-Mariana terrace of the Western Group and should be correlated with the Pre-Mariana.

The Pre-Mariana Terrace is further divided into the upper (PM_1) and lower (PM_2) levels. The upper is the deposition surface of the Tertiary limestone and the lower is the eroded surface of the Tertiary bed.

b Mariana Terrace

The Mariana Terrace represents the deposition surface of the Mariana, Palau and Caroline Limestones and is further divided into upper and lower levels. The upper level (M_1) is the deposition surface of the Older Mariana Limestone and coincides with the truncated upper surface. The 340-Meter Terrace and higher terraces on Rota and the 240-Meter Terrace and higher terraces on Guam are correlated with the upper (M_1) terrace. The lower (M_2) is the deposition surface of the Younger Mariana Limestone or the surface cutting the older formations and is developed on the slopes of the mountains. Most of the Mariana Terraces in the South Marianas and all the Mariana Terraces in Yap and Palau are correlated with M_2. The relative elevations indicate that the Mariana Terraces in the Eastern Area fall under the M_2-Terrace.

c Peleliu Terrace

The Peleliu Terrace is the deposition surface of the Older Raised Coral Reef Limestone on the various islands in the Western Area. In the Eastern Area, the Peleliu Terrace is recognized on Fais Island and may be present below the Mariana Terrace on the coral reef islands, Nauru and Ocean.

d Post-Peleliu Terrace

The Post-Peleliu Terrace designates the deposition surface of the Younger Raised Coral Reef Limestone and of the elevated beach deposit forming the lowest terrace commonly developed on all the island groups.

In brief, the Mariana, Peleliu and Post-Peleliu Terraces are deposition surfaces of the respective limestones, and it is interesting to note that wide erosion surfaces have developed landward.

III CORAL REEFS

A Morphological Classification of Coral Reefs

The coral reefs of the South Sea Islands are separable morphologically into four fundamental and four intermediate types (Fig. 65)

1 Fundamental Types

The following attempted classification is based on the presence of a lagoon and of a central island, presumably a part of the foundation rock.

a Fringing Reef or Shore Reef

A coral reef in contact with the coast and without a lagoon.

b Barrier Reef

A coral reef surrounding the islands like a breakwater and including a lagoon between the islands and the reefs.

c Atoll

A circular coral reef embracing a lagoon but lacking the so-called central island which forms the foundation of the coral reefs.

d Table Reef

A small coral reef with neither central island nor lagoon.

2 Intermediate Types

The discrimination from fundamental types is based mainly on the depth and dimensions of the lagoon.

a Apron Reef

The initial stage of a fringing reef. Fringing reefs develop continuously and cover a substantial area; an apron reef is an embryo stage of a fringing reef and is attached to a part of an island like an apron.

b Almost Barrier Reef

A coral reef intermediate between a fringing and barrier reef. The lagoon is shallow, generally 5 to 20 meters, locally over 20 meters; the lagoons are narrow and form the so-called boat channel or reef pool.

c Almost Atoll

An intermediate type of barrier reef and atoll. There is a centrla island as in the barrier reef, but it is much smaller than the lagoon.

d Almost Table Reef

An intermediate type of atoll and table reef; like the atoll, it encircles a lagoon, but the ratio of the lagoon to the reef-flat is smaller than in an atoll, and, furthermore, the lagoon is more shallow.

The types are subject to gradual change and intergrade.

Coral reefs resembling sea level reefs in form and composition but lying above sea level are called raised coral reefs, and those deep under the sea level are submerged coral reefs. Theoretically, the submerged coral reefs should be divisible into the same eight types as those at sea level. They are not sufficiently surveyed, however, to be discriminated with the same degree of detail.

B Distribution of the Coral Reefs

1 Sea Level Coral Reefs

The characteristic of development of the coral reefs, like the geomorphology and geology, differs in the various island groups (Appendix Fig. No. 3, Appendix Table). In the North Marianas, which are of relatively recent volcanic origin, coral growth is only recently established. In the volcanic islands, such as Pajaros (Uracas), Asuncion, Guguan and Sarigan, which still maintain their original form, coral constructions have not yet had time to develop. Apron reefs, which have been recognized only in the Marianas, are forming on the western slopes of Maug, Agrihan and Anatahan, which are islands raised by Quaternary eruptions.

Small scale fringing reefs are built on the slopes of the somma in either young or early mature stages dissection such as these on Pagan and Alamagan.

Due probably to tilting, the form and development on the eastern and western coasts of the South Marianas is asymmetric. Apron or fringing reefs are built on the eastern up-tilted side and almost barrier reefs on the western down-tilted side. The almost barrier reefs growing off the four largest islands in the South Marianas (Fig. 72, 113) differ from those of Yap and the Palaus, possibly because the Mariana Reefs are in an area of recent sub-elevation and the Yap and Palaus, in an area which has been recently submerged.

In the Yap Islands, an almost barrier reef is growing a wide reef-flat resembling that of a fringing reef. Barrier reefs have been grown around Palau and Ponape.

In the Palaus, a number of types of coral reefs are represented, and disposed from north to south, in the following order : submerged atoll, atoll, barrier reef, and fringing reef. In the East Carolines, the almost barrier reefs, barrier reefs and the almost atoll are distributed in sequence from east to west. Truk is unique and is the single almost atoll in the South Sea Islands.

In the West Carolines, submerged coral reefs, especially the submerged atolls (Appendix Fig. No. 6) and small atolls, are conspicuously numerous.

Atolls are developed chiefly in the Eastern Group. The four in the Yap-Palaus are the only atolls in the Western. Small atolls are scattered through the West Carolines, and large atolls, exceeding 50 km in outer circumference, are common in the East Carolines and Marshalls. In the Marshall Group, the Ralik and Radak Islands are, for the most part, atolls, many of them very large. In the Central Group, the coral reefs vary from southeast to northwest, as in the Palaus, but the types and distribution of coral growth are not the same. From southeast to northwest, coral growth is represented in the following sequence : large atolls, small atolls, almost table reefs and table reefs.

Almost table reefs are recognized, one in each of the following groups : Palau Group (Parece Vela), West Caroline Group (Losiep), Ralik Group (Knox) and Central Group (Wake). Table reefs are clustered along the Tobi Island Chain and have a scattered distribution in the West Carolines and Marshalls.

2 Submerged Coral Reefs

Very few submerged coral reefs have been surveyed ; for the present, they may be separated into reefs with level tops and those with a central depression. The former may be considered as submerged table reefs ; the latter as submerged atolls.

As the bottom soundings become more numerous, the submerged table reefs may be proved to be submerged atolls.

An almost table reef, submerged to a depth of 8 meters, crowns the Supply Submarine Volcano on the North Mariana Ridge. Esmeralda Bank (depth 140 meters to 60 meters) and newly discovered banks at depths of 71 meters, 25 meters and 134 meters, Aragane Bank at 17 meters, and 25-Meter Bank on the same ridge are in the form of submerged table reefs, but they are not necessarily capped by coral. They are all submarine volcanoes, and are probably influenced by recent eruptions which would check the growth of corals.

Hunter Bank (depth 21 meters) in the Yap Group is a submerged table reef. A legend persists that the bank was once an island and inhabited by a fierce tribe. The greatest number of the submerged reefs, both table reefs and atolls, are distributed through the West Carolines. However, more than 20 table reefs and 14 submerged atolls have been reported from that area, but only a single atoll (Velasco Reef in the Palau Group) (Appendix Fig. No. 17) from elsewhere in the South Seas. Submerged coral reefs have not been recognized in the East Carolines nor farther eastward.

3 Raised Coral Reefs

Raised coral reef is a limestone built chiefly through the work of the reef building corals and maintaining a shape closely resembling that of the recent sea level coral reefs. They are widely represented and have been discussed at some length under geology.

C Characters of the Coral Reefs

1 Apron Reefs

Because the apron reefs represent the embryo stages of the coral reef, they form locally on coasts which may serve as a reef foundation. Consequently, they do not appear on coasts historically old, but are found either on Quaternary volcanic islands or on elevated coral reefs of Quaternary age and only at sea level. The reef-flats are narrow and short, and submerged in large part at low tide.

The following apron reefs have been recognized; North Marianas: Maug,

Agrihan and Anatahan; South Marianas: Medinilla and Tinian all at sea level.

Studies of the coral reefs were made in localities where various types of reefs are characteristically developed and are here described in some detail.

a Maug Island

An apron reef is growing below the elevated abrasion bench at the inner side of the northern tip on the East Island of Maug (Fig. 4). It is approximately 10 meters wide and 30 meters long. At low tide, the marginal portion of the reef appears and disappears between the waves, but the rest of the reef remains constantly under water. The surface of reef-flat, on which the reef building corals are now thriving, is irregular and undulated and has not yet reached the state of the so-called pavement reef-flat. The reef margin is also irregular and indented.

b Tinian Island

The apron reefs, crescent shaped when viewed from the air and with a maximum width of over 50 meters, are developed in front of the sandy beaches on the eastern coast of Tinian, on the Une-Mazarokku and Une-Dankuro Coasts (Fig. 66). The reef-flat is level and is divided into inner and outer zones. The inner zone is low and is covered by sand. The outer zone is higher and exposed at mean tide.

2 Fringing Reefs

a Sea Level Fringing Reefs

The fringing reefs, next to the apron reefs, represent the earliest stage of development of the coral reefs. For that reason, like the apron reefs, they are restricted to the volcanic and elevated coral islands of Quaternary age. However, the fringing reef develops in a much larger scale than the apron reef and may extend along the coast for a substantial distance.

The reef-flat is, as a rule, wide in a sandy area of gentle slope and in areas protected from wind and wave; it is not so wide in cliffed and unprotected areas, indicating clearly that the degree of slope and the effects of wind and wave are directly related to the development of the reefs.

The fringing reefs are larger and flatter than the apron reefs, and are normally divided into inner and outer zones, or inner, middle and outer zones. Both the inner and outer zones may be further divided into inner and outer sub-zones. The

inner sub-zone of the inner zone is in contact with abrasion surface at the base of the cliffs. The surface of the inner sub-zone is like a pavement and is normally floored with sand. Seaweeds, especially *Enhalus*, may be so extraordinarily abundant that the zone is commonly known as the *Enhalus* zone. In it, mushroom rocks, erosion remnants, are numerous, especially on the northern coast of Rota Island. The outer sub-zone of the inner zone occupies the lowest level of the reef-flat and is, for the most part, floored with sand; on the fringing reef off the Afenia Coast of Rota (Fig. 68), the sub-zone is exceptionally high and remains above water at normal tide level. If the flat is narrow, there are no mushroom rocks; if it is wide, there may be a few. The life assemblage includes *Enhalus* and other seaweeds and a few reef-building corals. In exceptional localities, as at Guam, coral growth is abundant.

The inner sub-zone of the outer zone, the so-called boulder zone, is level and pavement-like, and coral masses are scattered over the surface. The outer sub-zone is, as a rule, without relief and dips approximately 5° seaward. Calcareous algae are conspicuously abundant toward the margin and may build up a marginal ridge, the so-called Nullipore or Lithothamnion ridge; the usual elevation of the ridge is about 50 cm above the reef-flat. In exceptional localities, as in Fais Island, a Nullipore ridge may be thrown up both on the inner and outer margins of the outer sub-zone.

The marginal furrows are deeper on the fringing reefs than on the apron reefs; most of them head in the Nullipore zone, but a few of them are cut back to the boulder zone. The living corals do not flourish, as a rule, in the Nullipore zone, but are thriving on the walls of the marginal furrows and on the outer slope facing the open sea.

Terrace-like rimmed pools are developed on the inner zone or on the outer zone of the reef-flats of some fringing reefs. They resemble terraced rice paddies partially filled with sea water (Fig. 132, 133) and are so peculiar that they will be described in some detail. They are most common on reef flats of narrow fringing reefs in front of coastal cliffs. They are better developed on the outer zone of a reef-flat than on the inner and are best developed on headland and in areas where the rough waves break. They are not to be seen in sheltered embayments. Although they form a terraced terrain, they lack continuity and the inner and outer margins of the right and left sides are not always

symmetrical. Structurally and geomorphologically, they resemble calcareous tuff terraces in hot springs areas. The height of each terrace ranges from several centimeters to scores of centimeters. When 2 or 3 terraces are fused, the highest exceeds one meter. The average depth is 10 to 20 centimeters; the maximum depth is one meter. The floors of the rimmed pools are normally flat but they may be uneven with deep local depressions. Especially on the outer margin above high tide level, they are overgrown with calcareous algae but almost no other plant or animal life exists. Reef building corals are rare. Mushroom rocks, either of coral or algal limestone may rise from the floors of the pools. The highest rimmed pools are above high tide level and may coincide with the surfaces of younger raised coral reefs. However, the surface of even the highest rimmed pool is sprayed normally by sea water. Normally, the rims of the pools are perpendicular but occasionally, they are overhanging (Fig. 133).

Following Erb, Gosiijin and Umbgrove, Kuenen argued with reason, that the outer margin of the rimmed pool is formed by living organisms, primarily seaweeds. If a surface covered by seaweeds rises above the water level, the higher seaweeds will die; erosion immediately sets in and the rim is worn-back to the original level. However, on the other hand, if a surface is continually drenched with sea water, the sea weeds maintain the rims; if not sufficiently drenched, they die and the floors are widened. The origin of the high rims may be related to the large dolomite content in the *Lithothamnion* limestone of which they are composed. The limestones forming the pool floor and that which forms the outer margin have not been analyzed but they may or may not be the same. Rimmed pools with floor and outer margin of the same limestone are usually at the higher elevations, especially in areas above high tide level. Rimmed pools with floor and outer margins of different limestones are at the lower elevations, especially if the outer margin is overhanging. The theory that rimmed pools are formed as a result of solution by rain water during their exposure above the water level is opposed by Kuenen for two reasons: (1) If they are fomed as a result of solution by rain water, the rimmed pools should be found on all reef-flats; (2) and the floors should be more uniformly uneven. In the upper rimmed pools, however, solution by rain water is probably a contributing cause in deepening the pool. In the rimmed pools at the higher elevations, sea weeds grow only on the outer margins; during a storm, the floors of the pools are subject to solution by rain water, but the outer

margins are protected by algal coverage. This interpretation is supported by the uneven floors of the pools and by the un-eroded laterite-like brown rocks which fill the fissures in the limestones and form small ridges on the pool floors.

Fringing reefs have been recognized on the following islands:

North Marianas: Pagan and Alamagan

South Marianas: Saipan, Tinian, Aguijan, Rota and Guam

Palau Group: Angaur Island

West Carolines: Fais (Fig. 69)

East Carolines: Nauru Island

Ralik Group: Ocean Island

Pagan Island A fringing reef is formed on the south and southwestern slope of the somma of North Volcano (Fig. 6), and one on the eastern slope of the Middle Volcano. Each width of them is approximately 50 meters and the length, 1 kilometer. The fringing reef is in direct contact with the base of the cliffed margin of the Younger Raised Coral Reef Limestone, the Pagan Limestone (see Fig. 9). The reef-flat is like a pavement. The outer margin of the reef-flat is roughly a simple curved line serrated by the marginal furrows and spurs. The reef-flat is divided into the nearly level inner zone which is exposed at low tide and the outer zone which dips gently seaward and is barely exposed at low tide. The inner area of the inner zone is floored with sand and the margin of the inner zone is dotted here and there with depressions in which the corals grow. The edge of the outer zone is deeply slashed by the marginal furrows; the walls of the furrows are overgrown with thriving colonies of calcareous algae and corals.

Saipan Island The fringing reef is 100 meters on the maximum width (Fig. 67). The reef-flat is uncommonly level and its surface corresponds roughly to low tide level. It is separable into inner, middle and outer zones. The inner zone includes the flat pavement-like area covered by sand, pitted with small depressions and carpeted with abundant growth of seaweed. The limestone columns, 30 cm high, crowned with andesite blocks, are built of Foraminifera and calcareous algae, indicating that the reef-flat is, in part, at least, an old erosion surface. The middle zone, the lowest of the three, is floored with sand and favors thriving growth of seaweed and corals. Mushroom rocks are found in this zone also. The outer zone, the highest of the three, is exposed except at high tide, and two or three coral blocks may be seen.

The Nullipore ridge built up by calcareous algae and step-like benches covered with calcareous algae occur at the breaker line of the outer zone. The so-called rimmed pools, a terrace-like terrain with shallow ponds, are developed in the inner and outer zones of the reef-flat. Mushroom rocks, marginal furrows and rimmed pools are also well displayed on the fringing reef of Tinian.

Rota Island The reef-flat of the fringing reef is well developed on the Afenia Coast; the inner and outer zones are clearly defined (Fig. 68) and the level of the inner zone is distinctly higher than that of the outer. The inner zone of the upper level is flat, in part pavement-like, and covered with sand. On the outer zone of the upper level, the wide limestone bench lies 80 cm higher than the surface of the inner zone. 'Exposed rocks' of Mirikattan Limestone, 2 to 3 meters in height, rise from the bench (Fig. 124). The lower level is in contact with the base of the 1-meter scarp at the outer margin of the upper level; it, too, is separable into inner and outer sub-zones. The surface of the inner sub-zone is flat, like a pavement. The outer sub-zone of the lower level dips about 5° seaward, and the Nullipore ridge, trenched by intersecting marginal furrows and displaying a pattern of rimmed pools approximately 80 cm high, is developed at the surf line. The outer zone of the upper level remains exposed at high tide, but the lower level emerges only at low tide.

Guam Island The fringing reef on the eastern coast of Northern Guam is approximately 100 meters wide. It is divided into an inner and outer zone. The inner zone remains submerged to a depth of 1 to 2 meters, even at low tide. Sand covers a part of the surface, and seaweed and reef building corals grow in abundance. The low terrace-like terrain (*Lithothamnion* bench) of the outer zone is exposed at low tide. Rimmed pools are similar to those on Tinian and develop at the Inarajan Coast of Guam (Fig. 132).

Fais Island The fringing reef on the northeastern and southeastern coasts of Fais Island is shown in Figures 69, 70 and 71. The reef-flat is separable into an outer and an inner zone. The inner zone is flat like a pavement. No corals are growing on it, but dead *Porites* are found. There are no mushroom rocks, but the entire reef-flat emerges at low tide and dented with pot-holes filled with sand and gravel. At the inner margin of the outer zone, the innner Nullipore ridge rises 30 cm above the reef-flat. The surface of the outer zone inclines gently seaward and at the outer edge is another Nullipore ridge exposed only at low tide.

This second Nullipore ridge acts as a breakwater for the steep slope to the open sea.

b Submerged Fringing Reefs

No submerged fringing reefs are known.

c Raised Fringing Reefs

Raised fringing reefs are the most common of the raised coral reefs. Geologically, they range from the Mariana-Palau Limestone. Geographically, they are distributed in both the Eastern and Western Areas and range in elevation from 1—2 meters to 420 meters. Those in the North Mariana Group are Younger Raised Coral Reef Limestones; those in the South Mariana and Palau Groups are of Mariana and Palau Limestone to Younger Raised Coral Reef Limestone; and those of the Eastern Area are Older Raised Coral Reef Limestones to Younger Raised Coral Reef Limestones. Those of the older age are at the higher elevations and those of the younger age at the lower elevations. A fringing reef of Mariana Limestone probably surrounds Saipan and Rota and outcrops on the slopes of Tinian and Aguijan and of Northern Guam.

Fringing reefs commonly simulate reef terraces through the intermittent elevation of the foundation rock. The terrace surfaces are the result of reef terracing and are not deposition surfaces. Observations on the present fringing reefs prove that the inner and outer zones of the reef terraces are erosion and deposition surfaces respectively. The recent erosion surfaces are commonly continuous with the notch floor but this relationship becomes obscure in the older reefs.

The most prominent topographic characteristic of raised fringing reefs is the development of notches (Fig. 125, 126). Notches are not necessarily confined to raised fringing reefs, but are found on all raised coral reefs; however, they are shown most clearly on the fringing reefs. The primary cause of their formation is erosion; mechanical, biological and chemical. Mechanical erosion, though the most common, is not solely responsible, for notches may be present on the protected coasts of small lagoons in the raised coral reef zone out of range of wind and waves. Such notches nick the rocky coasts of the small lakes in Iwayama in Palau. Notches level with the sea are cut in the deep underground phosphate mines on Peleliu Island (Fig. 127). As Dr. Yabe suggested, the notches may be formed by chemical erosion from acidified surface sea water following a storm.

Mechanical and biological erosion may be secondary agents.

Karst topography is a second characteristic feature of the raised fringing reefs of Mariana Limestone Age. In the Palau Group, a few dolines are associated with the Peleliu Limestone and " uvala depressions ", with the Palau Limestone. Whether these uvala depressions are primary raised reef pools or secondary uvala is difficult to determine. However, most of the uvalas may have been raised reef pools for there is a striking similarity between the numerous grouped honeycomb-shaped uvalas and the reef pools of the sea level coral reefs on the southern coast of Babelthuap (Fig. 78). Following the same line of reasoning, the entire depression zone paralleling to the coast may not be a polje but a feature of the raised reefs.

Lapié topography may be of two types: the first is represented in the phosphate mines; the second, on the surfaces of various limestones especially along the sea-cliffs (Fig. 128). The first type is on a large scale; the vertical pits may be 25 meters deep; the tips of the limestone pillars are shaped like bamboo sprouts and are generally large and of approximately the same height. On the other hand, the second type is on a small scale; the vertical pits rarely exceed 3 meters and the pillars are like dogs' teeth. The difference thus presented suggests a difference of genesis. The first type of lapie is the result of chemical erosion due to acidification; the second type is the result of chemical and mechanical erosion by rain water.

The younger raised fringing reefs, the more closely the reef building corals retain their original growth attitudes assumed on the reef-flats. The older raised fringing reefs are, for the most part, an irregular aggregate of reef building corals. Reef building corals thrive only on the marginal zone of the reef-flat of the present fringing reefs; they do not thrive elsewhere on the flats. The same growth pattern is maintained by the reef building corals in the younger raised fringing reefs. However, on the older raised fringing reefs, the details of the pattern are lost.

The younger raised fringing reefs are comparable in size to the present sea level coral reefs, but the size increases with their age. This statement is not in accord with the observation that the raised coral reefs already discussed are, as a rule, smaller than the present sea level coral reefs.

The younger raised fringing reefs closely resemble the sea level fringing reefs but the older raised fringing reefs display characteristic differences. However, the

inner structure of the reef flats of sea level fringing reefs is not yet clearly known, and the differences may or may not be the result of environmental differences at the time of their deposition.

3 Almost Barrier Reefs

a Sea Level Almost Barrier Reefs

Almost barrier reeefs may be divided into the Saipan and Yap types. Those of the Saipan type attach to a part of the island and of the Yap type completely surround the island. The former grows on islands of emergent topography, while the latter is associated with islands of submergent topography. Almost barrier reefs have been recognized in the following islands: South Marianas: Saipan, Tinian, Rota and Guam; Yap Group: Yap Islands; East Carolines: Kusaie.

(1) Character of Saipan Type of Almost Barrier Reef

The almost barrier reefs of Saipan, Tinian, Rota and Guam Islands are included under this type. The lagoons formed by these reefs are shallow and narrow. The outer margins of the inner reefs are generally indistinct and are transitional from sand beach to lagoon floor. The outline of the inner margin of the outer reef is also ill defined and the reef-flat is generally narrow. Corals flourish in the inner sub-zone. The outer sub-zone of the outer reef-flat is not changed completely into a pavement floor, and mushroom rocks and boulders relieve the flatness. Coral islets are either absent or sparsely distributed.

Saipan Island An almost barrier reef (Appendix Fig. No. 7) is developing in the central part of the western coast of Saipan Island. Two peninsular-like coral reefs project from the coast toward the outer reef and separate the lagoon into northern, central and southern parts. The northern and southern lagoons are only two to three meters deep, indicating that the inner and outer reefs are about to join. The central lagoon is five to ten meters in average depth, 16 meters in maximum depth.

The inner and outer reefs are bared at low tide. The reef-flat of the inner reef is a sandy plain with abundant growth of *Enhalus* and *Halimeda*. A compact coral growth carpets the level surface of the outer reef-flat. Huge blocks of reef building coral are scattered about over the boulder zone. An 'exposed rock' of

Tanapag Limestone, 1.5 meters in height, rises among them. Recent limestone is also being deposited on the outer coast of the single coral islet or cay, Maniagasha Islet.

The almost barrier reefs of Tinian (Fig. 72) and Rota Island (Fig. 113) are smaller than on Saipan, and the lagoons are only about two meters deep.

Guam Island A triangular almost barrier reef-has been built on the Merizo Coast in Southwestern Guam (Fig. 73). The inner reef-flat is thickly covered with dead *Porites*, but *Enhalus* is locally abundant and thriving. A boulder zone may be recognized on the outer reef on the western side of the triangle. A continuous chain of 'exposed rocks' of Merizo Limestone outcrop on the southeastern side of the reef. Two coral islets, formerly a single islet but recently divided and known as Cocos or Dano Island, rise above the surface off southeastern Guam. Beach sand and recent limestone are being deposited on the inner side of the islets, and Younger Raised Coral Reef Limestone, Merizo Limestone, outcrops on the outer side. The lagoon is narrow and only five to ten meters deep, but it forms Merizo Harbour.

Apra Bay, protected by Orote Peninisula and Cabras Island, should be interpreted as a relict lagoon of Mariana Limestone Age rather than as a lagoon related to the present sea level coral reef. The depth of the lagoon reaches 50 meters.

(2) Character of the Yap and Kusaie Type of Almost Barrier Reefs

Lagoons are indicated in the reef bays, reef pools and boat channels. The reef bays are formed at the tips of drowned valleys or on their extension lines. The boat channels roughly parallel to the coasts. Reef pools are scattered over the middle zone of the reef-flats. Boat channels are normally flanked by mangrove trees and the floor may be overgrown by *Enhalus* and *Halimeda*, but rarely by corals. The corals, however, thrive on the steep and commonly overhanging walls of the reef bays and reef pools.

The outer and inner reefs may be joined to form wide reef-flats clearly divisible into inner middle and outer zones. The inner zone is in contact with the abrasion surface and displays many abrasion remnants. The middle zone, the *Enhalus* zone, is submerged even at low tide. The outer zone, the boulder zone, is margined by the Nullipore ridge.

Yap Islands (Appendix Fig. No. 5) The coral reef which surrounds

the Yap Group has been regarded as a fringing reef, and its wide reef-flat has attracted much attention. However, when thoroughly studied, it may be proved to be an almost barrier reef.

The lagoon is narrow and generally shallow, with a maximum depth of 29 meters and an average depth of approximately 20 meters. Reef bays are formed, such as Tomil Bay, and reef pools, such as those on the northeastern coast of Rumung Island.

We may assume that the outer and inner reefs are connected, and that the width of the flat averages 1,200 meters. The flat is divided into inner, middle and outer zones.

The inner zone is in contact at the base of the cliffs with the abrasion surface and includes the mangrove and *Enhalus* zones. However, if the inner zone is in direct contact with the sand beach, there is no intermediate mangrove growth but only the *Enhalus* zone which is exposed at low tide.

The middle zone is floored with sand and does not emerge even at low tide. The lagoon, including the reef bays and reef pools, occupies this area. The growth of life on the sandy floor is poor, but some living corals are present. They thrive along the edges of the reef bays and reef pools, and the rate of growth indicates that the area of the bays and pools may be diminished yearly.

The outer zone is divided into inner and outer sub-zones. The inner sub-zone is the zone of abundant living and thriving coral growth and is, for the most part, submerged even at high tide. The outer sub-zone is the boulder zone; some part of it remains above water even at high tide and it is completely exposed at low tide, revealing the numerous dead coral.

Erosion remnants are restricted largely to the inner zone and are relicts from the Yap and Map Beds and the Garim Limestone. Coral masses, 1.5 to 2.5 meters high, the approximate elevation of the erosin remnants, may be seen also on the outer zone. Such a mass is "Entrance Rock". No coral islet rise from the reef-flat.

Kusaie Island The almost barrier reef of Kusaie differs somewhat from that of Yap. Evidence of the lagoon is seen not only in the reef bays and reef pools, but also in the so-called boat channel, the tropical tundra, formerly the lagoon floor, and in the chain of coral islets, strung along the outer reef (Fig. 33).

Reef pools are developed on the northern coast and boat channels, on the eastern

and southern shores. The lagoon is filled in part with sand and mud transported from the inner and outer shores, and, on the fill, the mangrove growth is dense. The unfilled central area (Fig. 74) forms the boat channel, two to one meters deep and roughly parallel to the coast. At high tide, a canoe is free to pass, but at low tide, less than half of the channel is navigable. The tropical tundra (Fig. 75), the floor of the old lagoon, is an accumulation of organic matter to a depth of five meters.

The deepest reef pool, sounded at 36 meters, is near Utwa on the southern coast. Those of the northern coast are generally 10 to 20 meters deep.

The reef-flat of the outer reef includes distinct inner and outer zones. The surface of the inner zone is flat and pavement-like and densely strewn with coral gravel. Mushroom rocks (Fig. 76) are exceptionally numerous on a part of the southern coast. They are, as a rule, two to three meters high, and small trees are growing on some of them.

On the northern coast, where the outer and inner reefs are united, the width of the flat is approximately 700 meters. Inner and outer zones may be discriminated. On the sand-covered inner zone, only *Enhalus* thrives; coral growth is scant and puny. The water over the inner zone at low tide is very shallow. The outer zone includes the so-called boulder zone and a sandy floor with a meagre coral growth. The corals thrive best on the inner margin of the reef pools floored with sand. Most of the length of the boat channels is free of marine organism, but locally *Enhalus* or *Halimeda* may be abundant.

The Yap and Kusaie Almost Barrier Reef have in common the characteristics mentioned above, but they also have individual characteristics. A chain of coral islets is strung along the Kusaie Reefs, but no similar series appears in the Yap Group. A few erosion remnants are distributed along the inner zone of the outer reef in Kusaie, but in Yap they are numerous, both on the inner reef and on the isolated independent reefs within the lagoon. No tropical tundra formed as a result of lagoon fill has been recognized in Yap.

If we think of the lagoon of Kusaie as including the tropical tundra, the delta deposit and the mangrove swamp, the area covered is far larger than the Yap Lagoon and the Kusaie Almost Barrier Reef might be considered as a barrier reef.

The boat channels of Kusaie are narrow, shallow and parallel to the coasts not only in one but in two or even three series. Most of them are flanked by man-

grove trees, and very few plants or animals live on their sandy mud bottoms.

b Submerged Almost Barrier Reefs

No submerged almost barrier reefs have been recognized.

c Raised Almost Barrier Reefs

The raised almost barrier reef of Rota probably at one time surrounded the central island. It is of Mariana Limestone Age. A few of limestone outcrops on the summit of Mt. Manila (Fig. 115) may be relicts of former raised table reefs. The underlying volcanic rock forms the foundation of the central island.

The inner reef of the raised almost barrier reef is developed only on the eastern slope of the island. The outer reef is most clear on the northern side, and is absent on the southern side. It may have been eroded since it was raised. The lagoon averages 5 to 10 meters deep, but 20 meters was measured near the outer reef on the western side. Phosphate ore is deposited in the deeper part of the lagoon. Fig. 114 is a graphic reconstruction of the raised almost barrier reef. It differs from a sea level almost barrier reef only in the smaller size.

A thickness of approximately 50 meters is estimated from an exposure of the contact of the outer reef of the raised almost barrier reef and the underlying agglomerate which is a part of the basement rock of the island. A similar thickness is inferred from an outcrop on the cliff above a cave in a spring. This raised almost barrier reef seems to be attached in a wedge shape to a flat surface dipping slightly south (Fig. 116).

On Guam, the raised almost barrier reef is in the northern half of the island, for the highest localities inclined landward are on the sea-cliffs. At the time of formation, Barigada and Santa Rosa constituted the central island, and the fringing reef was developed chiefly to the north and west. The lagoon is generally 5 to 10 meters deep. There is reason to believe that the southwestern area was faulted after the reef had formed and that the relative position of the outer reef and the lagoon were affected. The estimated thickness of the limestone of which the outer reef of the almost barrier reef is built is 200 meters, this estimate based on the 180 meter cliff in the northeastern part of the island.

Another type of almost barrier reef, also of Mariana Limestone Age, is triangular and attached to the northern side of the raised atoll on Mt. Lamlam (Fig.

121). The western side of the reef is 1,100 meters long; the eastern and southern sides, 1,400 meters. A passage is recognized on the east side and another on the west. The lagoon is approximately 20 meters deep. This type closely resembles the present sea level almost barrier reef in Tinian.

4 Barrier Reefs

a Sea Level Barrier Reefs

A barrier reef is thrown around a group of islands like a breakwater and includes a central volcanic island and a lagoon. The inner reef, so-called new-generated fringing reef surrounds or partially surrounds the central island; the outer reef, the island group. In a well developed reef-flat of an inner reef, inner, middle, and outer zones may be discriminated. The inner zone is clearly in contact at the base of the cliffs with the abrasion surface. It is floored, for the most part with sandy mud which favors the growth of mangrove forest. The middle zone is sandy and covered thickly with seaweed, such as *Enhalus* and *Halimeda.* Worm pellets and crab holes are also associated with this zone. A limited coral fauna, including *Porites, Favia,* and *Favites* grows in the depressions between the inner and middle zones, but the corals thrive best on the slope beyond the margin of the outer zone.

Numerous reef segments, broken by the passages, form an irregular and incompleted ring. The width of the reef-flat is not uniform throughout the ring. The maximum and minimum widths are usually on opposite sides of the reef. This is especially noticeable in Palau. Such an asymmetric growth of the reef-flat may be the result of submarine slopes, tilting of the foundation, current, directions of wind, etc. A view from the air shows that the outer margin of the outer reef is comparatively simple, but the inner margin is complicated by dendritic marginal processes projected toward the lagoon.

Isolated reefs are common in the lagoons and assume various forms, such as columnar, flat-topped and dome-shaped.

Circular reef pools are formed where the inner and isolated reefs are united and, from the air, they look like a honey comb on the reef. Such pools are common in southern Babelthuap (Fig. 78).

Coral islets (cays) occur very rarely on the inner reefs, but are commonly

found on the outer. They are not distributed symmetrically due to the prevailing winds and currents, but are more numerous on the east and south sides of the reef than on the west and north sides.

The depths of the lagoons do not vary greatly. The average depth is 60 meters in Palau, 40 meters in Ponape. The maximum depth in both island groups is approximately 85 meters. The lagoons are deepest on the extension line of the drowned valleys, and these deep areas are used as harbours.

The passages between the reef segments coincide, as a rule, with the extensions of the drowned valleys. But as the width of the lagoon increases, the relationship between the passages and the drowned valley becomes more obscure. The depth of the passage is normally less than that of the lagoon.

Only the reefs encircling the Palau Islands and Ponape Island are recognized as barrier reefs.

Palau Islands The coral reef surrounding the Palau Islands forms a fringing reef in the northeast and a barrier reef elsewhere (Appendix Fig. No. 8). The circumference of the reef is approximately 125 km. The form and character of the inner reef, the so-called newly generated fringing reef attached to the central island, depends on whether the basement rock is volcanic or of limestone. In the volcanic zone, the inner reef is well developed and the reef-flat is generally divisible into inner, middle and outer zones. The inner zone, the mangrove zone, is in contact with the abrasion surface and is floored with mud, 0—2 meters thick, favoring dense growth of mangrove. The middle zone of the inner reef of barrier reef of Koror is distinguished by an abrasion surface of andesite, agglomerate, and tuff. The middle zone is more commonly floored with sand suited to abundant growth of *Enhalus* and *Halimeda*. Corals grow in the outer zone. The depression between the middle and inner zones is deep and here grow the massive corals such as *Porites* and *Favites*. Among the reef building corals, including the dead, *Acropora* dominates in the outer zone; in the middle zone, *Acropora* and *montipora*, with a few other reef building corals, are outstanding.

On the northwest side of Peleliu Island, the reef-flat is exceptionally broad and very flat. Coral blocks and coral discs are distributed over the surface which is largely covered by sand.

The corals are most abundant on the slope of the outer margin. The inner reefs do not flourish in the limestone zone. The reef, if present, is at the level of

the base of the notches, but it is discontinuous and very narrow. There is no mangrove zone and, in many localities, the *Enhalus* and *Halimeda* zones are also absent.

The character of the outer reef on the eastern and western slopes of the Palau Islands differs. On the western slope, the reef is wide and continuous; on the eastern slope, it is narrow and discontinuous.

Nineteen large and small passages or boat channels trench the reef. Only West Passage, Aiwokako Passage, and one or two others lie on the extension line of drowned valleys. The five small coral islets are all of them on the eastern side of the outer reef.

Ponape Island The barrier reef of Ponape is hexagonal (Appendix Fig. No. 9); the reef segments are numerous on the southwestern side and few on the northeastern. The reef-flat of the outer reef shows a maximum width of 800 meters and a minimum width of 400 meters. The form and character of the reef-flat is similar to that of the Palau Barrier Reef. The character of the inner reef is similar to that in the Palau Volcanic Zone, although, as shown in Fig. 77, the mangrove zone is more extensively developed. The margin of the mangrove zone is, however, deeper than that of the middle or *Enhalus* zone. Locally, corals may be growing below the mangrove trees.

The isolated reefs within the lagoon are numerous. Some of them seem to be growing at both ends like outstretched arms between the inner and the outer reefs. In the southeastern area, these outstretched and linked-up isolated reefs are uniting to form fringing reefs.

Compared to these of the Palau Barrier Reef, the coral islets or cays of Ponape are numerous, 19, and their distribution on the southern and southeastern parts of the reef differs from that of the Palau Cays (Appendix Fig. No. 8).

The lagoon is rather more narrow than that of Palau. The maximum depth is 87 meters, the average depth, 40 meters. The number of the passages, 19, is the same as in the Palau Reefs, but, unlike those of Palau, most of the passages are on the extension line of drowned valleys (Fig. 28).

b Submerged Barrier Reefs

No submerged barrier reefs have been recognized.

c Raised Barrier Reefs

Two types of raised barrier reefs occur on Guam: The first type is smaller than a sea level barrier reef and resembles a sea level almost barrier reef, while the second type is smaller than the first, and its lagoon is much shallower. The first type is of Mariana Limestone Age, recognized in Apra Bay. Cabras Island and Orote Peninsula formed a part of the outer reef at that time. The lagoon is approximately 50 meters deep at present, indicating a depth of about 100 meters at the time of formation. From the height of the cliff at the tip of Orote Peninsula, the thickness of the limestone forming the outer reef is estimated at more than 60 meters.

The second type is of Barigada Limestone Age, the Younger Raised Coral Reef Limestone. It is recognized on the southern coast of Orote Peninsula. Alutom, Anae and Facpi Islands were a part of the outer reef at that time. Both the width and the depth of the lagoon increase from north to south; the maximum width is 1,200 meters; the maximum depth only 15 meters below the sea level, although at the time of formation the depth probably exceeded 30 meters.

The second type is smaller than the first, but in comparison with a sea level barrier reef, even the first is extremely small and resembles the sea level almost barrier reef in Saipan. There is, however, a marked difference in depth between them.

The raised barrier reef of Palau differs characteristically from those of Guam. The outer reef is adjacent to the central islands (Babelthuap, Arakabesan, Malakal, Koror); and includes Gorak, Ngothugothu, Aurapushekaru and Ngargol Island are examples of such reefs. The outer and inner reefs together locally form a reef peninsula at right angles to the coast. Garayamu, Pkulapnei and Koror Rocky Mountains (Iwayama) are examples of such reefs. Another reef peninsula directed southward from the central islands includes Urukthapel, Eil Malk, Orukuizu, Omogan, Ngemelis, Garakayo and Peleliu Island being at the southern extremity.

Matu-Sima (Matsu-Shima) in Iwayama Bay, Ōmatu-Sima (Ōmatsu-Shima) within the semi-circle of Urukthapel Island and numerous other inner reefs are scattered within the outer reefs. Small inner reefs of former seas may be represented by

the mushroom rocks. A depression zone parallel to the axis of the islands and near the coast of the larger outer reef limestone islands, such as Aurapushekaru, Koror, Urukthapel and Malakal, is indicated by lakes, valleys and embayments or Kerncol-shaped saddles suggesting fissure lines. The difference in the relative elevation of the land on either side of this zone is pronounced. No. 1 and No. 2 terraces are represented in the limestone on the inner side and No. 3 terrace in the limestone on the outer side. There are two possible causes for the formation of this zone. The first is faulting and subsequent erosion along the fault line. The second is reef-terracing involving the intermittent rise of the coral reef. The depression zone might then be considered an embryo stage of boat channel such as that we see at Kusaie Island. Evidence of faulting is inadequate and the second cause seems the more probable. In that case, the lower limestone of the outer slope represents the raised almost barrier reef attached to the upper limstone of the inner slope.

The thickness of the limestone (Palau Limstone) which forms the outer reef is approximately 300 meters at Urukthapel. The maximum elevation of the limestone is therefore 220 meters. If the elevation of the limestone was lowered by weathering, thickness of the limestone exceeded 220 meters above the sea level. Furthermore, if it was based on the reef floor, the estimate should be increased by about 60 meters, i.e., to 280 meters. If the basement rock was below the reef floor, then the thickness will further increase, but if it outcrops between the reef floor and sea level, the thickness will obviously diminish. The basement rock apparently dips southward and the character of the limestone near the water level on Urukthapel Island indicates that rock is probably below the lagoon floor. From the available evidence, the estimated thickness of the limestone exceeds 220 meters and may be close to 300 meters. On the limestone lapié developed.

The contact of the underlying rock and the Palau Raised Barrier Reef is exposed at several localities (Fig. 118). The basement rock is Aimiliiki Agglomerate unconformably overlain by Palau Limestone forming the raised barrier reef. The basal limestone bed is a conglomerate and sandstone on which the *Acropora* bed rides. The *Acropora* bed is a yellowish gray limestone or marl composed entirely of *Acropora* and *Montipora* and strikingly similar to the recent inner reefs which also are dominantly of *Acropora* and *Montipora*. Even though the sandstone and conglomerate are absent, *Acropora* is still present. An outcrop of the *Acropora*

bed may then be considered an indication that the basement rock is not far below.

The surface of the foundation rock is comparatively flat and dips gently. The overlying limestone beds are also dipping and are parallel to the basement rock. The incline of these beds is not due to crustal movement, but to deposition on a slightly tilted surface.

The raised barrier reefs of Yap somewhat resemble the Palau raised barrier reefs, and like them, are of Mariana-Palau Age.

They are smaller, however, and their destruction is more advanced. No inner reef has been recognized on Yap. The outer reef is represented in Garim and Irikku Islands. The thickness of the reef limestone is certainly more than 10 meters, but no definite figure can be given.

5 Almost Atolls

a Sea Level Almost Atolls

The almost atoll is intermediate between a barrier reef and an atoll. The area of the central island is extremely small when compared to the area occupied by the lagoon. The almost atoll in the Truk Group (Appendix Fig. No. 10) is the only one of its kind in the South Sea Islands whether at sea level, submerged or raised. It is roughly pentagonal and the circumference is approximately 200 kilometers. The Siki (Shiki) and Sitiyō (Shichiyō) Islands in the central islands of Truk are very small and composed of basalt.

The inner reef is growing continuously along the coast of the central islands and like the Palau Barrier Reef may be divided into three zones. The inner zone is in contact with the coastal plain and may support a mangrove forest. *Enhalus* and *Halimeda* are abundant along the inner belt of the middle zone. Unlike Palau, there is a substantial coral growth in the outer belt of the middle zone, and corals and many mushroom rocks are scattered over the outer zone of the inner reef (Fig. 80). The maximum height of the mushroom rock is 3 meters; the average elevation about 2 meters. Some of the mushroom rocks are composed entirely of *Porites* others are formed of a number of species of reef building corals. The columns of the mushroom rocks are double notched (Fig. 81).

The few reef segments on the eastern side of the almost atoll are wide and long; the numerous reef segments on the southern side are narrow and short.

The largest reef segment is 32 kilometers long and 500 meters wide. The character of the reef-flat of the outer reef is similar, for the most part, to that of the reef-flat of the Palau Barrier Reef, but the reef-flat of the outer reef of Truk adjacent to the coral islets is pavement-like and supports many corals, mostly *Porites* and mushroom rocks, 3 to 1 meters high (Fig. 79). The boulder zone is wide and, on the outer margin of the reef-flat, facing the open sea, the Nullipore ridge is well developed (Fig. 79).

Of the 25 isolated reefs, a substantial number of them are crowned with islets. In this, they differ from the above-mentioned barrier reefs and from the atolls which will be discussed later. There are also a considerable number of reef peninsulas of complex shape ("outline is jointing of arc lines") formed as a result of the union of isolated reefs and inner reefs (Fig. 82). The inner zone of the reef-flat of the isolated reef is pavement-like and numerous mushroom rocks rise from it (Fig. 83). The shape and height of the mushroom rocks coincide with those on the inner reef. Living corals are growing in the outer zone and the outer margin of the outer zone is furrowed.

In addition to these sea level isolated reefs, numberless isolated reefs seated always under sea level are distributed in the lagoon. There are 56 such islets on the outer reefs and more than half of them are on the southern and on the eastern sides. Foraminiferal sand and coral gravel are the principal construction materials of most of them but basalt gravel is important in the formation of some. The gravels, as a rule, compose the outer slopes of coral islets on the outer reefs and the sands compose the inner slopes of the islets. The gravels on the isolated reefs are laid down on the windward side, generally the northeast, and the sands are deposited on the leeward side, generally the southwest. Recent limestones form on both the ocean and the lagoon side.

The average depth of the lagoons is 40 to 60 meters; the maximum depth is 85 meters. The deeper areas are commonly restricted to the eastern side of the lagoons. On the lagoonward extension of the drowned valleys, furrows do not exist except off the north coast of Moen Island.

The passages number approximately 50; most of them are on the southern side and the relationship to the drowned valleys is obscure.

The so-called newly generated fringing reef or inner reef has already been discussed. Some of the fringing reefs have developed into almost barrier reefs.

Typical examples may be seen in Truk on the western coast of Moen Island (Fig. 84) and on the northern coast of Uman Island. Between the shores of the central islands and the inner reef margin is a shallow lagoon overgrown, in large part, with mangrove forest which extends to the marshland of the middle zone in the "coastal plain". Narrow coral islets are formed on the outer margin of the reef. Where the lagoon is filled in, the islets rise 1 to 2 meters above the reef-flat and form the heights of the outer zone of the "coastal plain". Palm trees flourish on the higher land.

In a strict sense, the almost atoll including the outer reef forms double reef rings. The phenomenon of the double reef rings, so far as the Truk Islands are concerned, may be interpreted as the result of the intermittent subsidence of the foundation.

No submerged or raised almost atoll has been recognized.

6 Atolls

a Sea Level Atolls

An atoll is a coral reef which encircles a lagoon, but has no central volcanic island. It is by far the most common form of coral growth, both in the East and the West Carolines. Because of the absence of complexities due to volcanic deposition, the features peculiar to coral growth may perhaps be best presented by considering an ideal and diagrammatic coral islet or cay on an atoll (Fig. 93) and a specific reef-flat (Fig. 96). Most of the forms have already been mentioned in the descriptions of other reefs, but their relationships are better established on the atolls. The characters noted in the following paragraphs are considered in sequence from the land to the lagoon and from the land to the open sea.

A coral islet is usually elongated parallel to the reef. The central part of the islet is commonly depressed. Taro is cultivated on the floor of the depression (7) and coco trees grow on the higher land on either side. Dune sand (6) composed, in large part, of the tests of Foraminifera, *Halimeda*, and coral and shell fragments, is heaped up parallel to the lagoon shore, usually to a height of about 2 meters above the reef-flat. Beach sandstone (5) merits special consideration and has been discussed under Geology. It consists primarily of foraminiferal sand deposited, as a rule, parallel to the coast line and dipping with the beach slope. It

may be laid down between tides and, apparently, rain water plays an important role in the cementation. Only the outer surface of the sandstone is indurated; within, it is soft and porous. The *Enhalus* zone (4) is that part of the reef-flat in which *Enhalus,* a form of seaweed or calcareous alga is the dominant organism. The zone is submerged even at low tide and is floored with sand. With *Enhalus* is commonly associated another alga called *Halimeda.* Coral stock (3) includes, for the most part, broken coral heads, commonly of large size, dispersed along the reef-flat. The corals grow best, however, in the Coral zone (2) at the margin of the lagoon. The lagoon walls may be steep or cliffed at the base of the reef margin. If they are in direct contact with the sand beach, the slope is usually gentle and marges gradually into the lagoon basin. The Lagoon (1) is one of the most important and significant features of the coral islands and will be discussed at length a little later.

The Boulder ridge (8) or Shingle rampart is built up, as a rule, on the ocean side of the cay. Gravel may form the greater part of the ridge, but a coral congromerate may also be present in considerable quantity. Masses of coral are heaped up to form a breakwater which is commonly the most elevated area on the island. At the foot of the breakwater or Boulder ridge on the ocean side is a Gravel beach (9). Beach conglomerate (10), locally interbedded with beach sandstone, is deposited on the outer shore of the cay. Corals and coral limestone make up the greater part of the conglomerate. The coral gravels commonly scattered over the reef-flat are derived from the conglomerate and not from the Boulder zone beyond. The conglomerate is usually bedded and dips with the beach.

Mushroom rocks (11) are characteristics of the inner zone, but are relatively rare on the cays. They are present, however, on Jaluit and Satawan. They also occur very rarely on the low area between the Boulder zone and the sand dunes, for example on Ant, and even farther out on the outer reef-flat, but they are subject to rapid destruction on that exposed front. The coral mass of which they are, in large part, composed may include only a single species, usually *Porites* (Fig. 67), less commonly *Favites, Heliopora,* or *Naeandra,* or an assemblage of coral species rooted in the reef. The surface is rough and rudely spherical and the usual height is 2 meters (Fig. 128), regardless of the reef on which they occur. Most of the rocks are bare; a few are crowned with grass and trees. Mushroom rocks develop on all coral reefs except apron reefs which are of too recent origin. They are un-

doubtedly an erosional feature associated with the abrasion platform in which most of them are rooted. The so-called "Negro heads" on the outer zone of the reef should be excepted. They seem to be erratics thrown up by wave action during storms; some few may be relicts of former mushroom rocks, notched at the base and toppled by long continued wave pounding at a uniform level. Unlike the mushroom rocks of the South Marianas and Truk, rarely more than a single notch is cut at the base of the mushroom rocks of the atolls.

A fracture (16) (Fig. 94) may be at right angles to the shore line, oblique or parallel; it may be related to minor faulting or sun cracks but not to erosion. The furrows on the inner flat (17) are shallow erosion depressions at right angles to the shore line and, as a rule, are numerous. The pot-holes (18) are shallow pot or dish-shaped depressions on the reef-flat. The truncated surfaces of corals such as *Heliopora, Acropora* and *Porites* are usually in evidence on the reef floor. Tidal deltas (19) are formed and filled in at the entrance of the passage into the lagoon.

In front of the inner zone in which the mushroom rocks are most numerous, the reef is depressed below low tide level, and the sandy floor supports a thriving colonial growth of coral. In front of the depression is the Boulder zone (f). This zone is exposed at low tide and its pavement-like surface is covered by coral blocks and gravels. The Boulder ridge or Shingle rampart (Figs. 142, 149, 156) which in the cays is usually a ridge of coral gravel (12) rather than of Boulders, commonly includes the point of highest elevation on the cay. Nullipore ridges (13) usually rise on the wave breaking line, in the Nullipore zone (g) (Fig. 95) where coral growth is relatively meagre but calcareous algae are flourishing. Only growing calcareous algae builds a Nullipore ridge. The profile is nearly triangular; the maximum height is about 1 meter and the average height, 30 to 60 centimeters; the seaward dip is approximately 5°. The outer surface is reddish purple but the Nullipore mass is white within and is riddled by boring organisms. Umbgrove determined the dolomite content in Nullipore limestone to be higher than in coral limestone.

The origin of Nullipore ridges is not well established, but certain facts have been assembled. Nullipore ridges are subjected to regional influences, climatic and oceanographic conditions and crustal disturbances. They are well developed in the Marshall Group, but the environment becomes less favorable westward toward the East Carolines and still less favorable in the West Carolines. Kuenen reported that

they are almost entirely absent in the Dutch East Indies, probably because of the want of seasonal winds. In Ulithi Atoll, a and narrow and shallow pool on the reef-flat is parallel to the outer margin of the outer reef (Fig. 96). The depression which it occupies may indicate the incomplete fusion of the Nullipore ridge and the outer reef margin.

The edge of the Nullipore zone which is the outer margin of the reef-flat is deeply trenched and serrated at right angles to the reef margin by the marginal furrows and spurs (14). Like the mushroom rocks and Nullipore ridges, the furrows and spurs are to be seen on all the reefs except the apron reefs. By far the greatest number of the marginal furrows originate in the Nullipore zone, a few in the Boulder zone, and a very few in the inner zone. It is the area of optimum coral and algal growth and the interaction between the growth outward of organic life and the pounding destructive surf is the probable cause of the form of development of the marginal furrows and the spurs which separate them. The edges of the marginal furrows may be built up to form rimmed pools; the opposite inner margins may overgrow at intervals leaving holes here and there through which the sea water beneath sprays upward. Stages of progressive deposition are clearly displayed on Fais. The descent to the ocean depth is usually steep (15).

Size and Shape of the Atolls Kwajalein, 300 kilometres in circumference of reef ring, is the largest atoll (Apendix Fig. No. 18) and Toas, 8 km in circumference, is the smallest. When viewed from the air, the atolls exhibit various forms, and few of them are circular. In many atolls, for example in Sorol, Jaluit, Maloelap, Satawan and Ailuk, the direction of the long axis of reef ring and the direction of the submarine ridge coincide. Atolls of nearly circular shape, such as Nukuoro and Greenwich, may rise from submarine plateaus. Atolls of triangular outline, such as Namonuito (Ororu) Atoll, (Appendix Fig. No. 11) may be due to the intersection of three tectonic lines, such as the E-W line, the NE-SW and the NW-SE.

Numerous isolated reefs are distributed at equal distances from the inner side of the outer reefs. The isolated reefs may form a second though incomplete atoll. Nukuoro Atoll (Fig. 85) displays double reef rings of this type and those of Ant and Taongi (Appendix Fig. No. 12) are similar though incomplete.

Lagoons The shape of a lagoon is governed chiefly by the shape of the atoll. The depth in comparison to the area occupied by the lagoon basin is extremely shallow and fairly uniform. The deepest part is not always in the middle

but is commonly eccentric and toward the side where the cays are most numerous. In some lagoons, the greatest depths are sounded adjacent to an isolated reef. In a few, such as Ngulu, the bottom contours indicate a narrow depression extending across the basin like a fault valley. (Appendix Fig. No. 13)

The depth of the lagoons of the atolls is very closely related to the formation of the coral reefs. Since the report by Dr. H. Yabe and R. Tayama was published in 1937, informations on 64 atolls of the South Sea Islands have been assembled and new light thrown on the coral reef problems. The findings are only summarized in this report.

The relation between the depth of the lagoon and the circumference of the atoll is shown in the graph (Graph 1) by the depth curve connecting the intersecting points of the depths of the lagoons on the vertical axis and the circumference of the atolls on the horizontal axis. The graph indicates that up to 60 meters in depth and 50 kilometers in circumference, the former tends to increase as the later increase. However, beyond those limits, the relation between the two becomes obscure and the depth of a lagoon remains approximately 70 meters despite of the increase in the circumference of the atoll.

Most of the data on lagoons confirms the depth curve, but the depth of a few lagoons is anomalous. Those atolls in which the lagoon is at least 20 meters deeper than the depth indicated by the curve include Nukuoro, Namorik (Fig. 90), Namoluk, Greenwich (Fig. 151), Lae, Pingelap, Pakin, Aur, and Namonuito, which are all in the East Caroline Group. Atolls in which the depth of the lagoon is at least 20 meters less than that indicated on the graph include Bikar and Taongi in the Central Group, Ailinginae in the Radak Group, Ujae, Jaluit, Namu and Wotho in the Ralik Group, Ulithi in the West Carolines and Kayangel, and Ngaruangl in the Palaus.

The Nukuoro and Namorik Atolls, despite their circumference falls short of 25 kilometers, have the deepest lagoons of all the atolls. The shallowest record of all the lagoons is 9 meters and the deepest, 108 meters. There are 3 atolls which show a range in depth of more than 90 meters.

The depth of the lagoon decreases, as a rule, with the decrease in the number of passages (Graph 4). The filling of the lagoon by wash and by organic growth on the walls, the floor and the reefs within the lagoon, is exceedingly alow but it is long continued and is accelerated by the choking of the passages and the

consequent blocking of the escape of any detritus. The tropical tundra zone is almost certainly the result of the filling of a former lagoon. However, Nukuoro, Greenwich, Namorik, Namoluk and Satawan have very deep lagoons and only one or two passages or none at all, and Kwajalein, Ulithi and Pulap (Fig. 155) have numerous passages and shallow lagoons. In the first group, the rate of subsidence exceeds the rate of deposition, and, in the second group, the rate of deposition exceeds the rate of subsidence.

The following are the average depths of the lagoons in each group: Palau Group, 27 meters; West Caroline Group, 41 meters; East Caroline Group, 63 meters; Ralik Group, 64 meters; Radak Group, 59 meters; Central Group, 32 meters. The maximum depths are to be found in the East Carolines and Raliks, and the depth decreases as the distance from those two groups increases.

The recorded depth of the lagoons of all the atolls in the world ranges from 54 to 90 meters (30 to 50 fathoms). R.A. Daly calculated from the ice caps in the polar regions that the lowest sea level during the Ice Age was 60 to 70 meters below the present sea level and the depth of the great majority of the lagoons in the South Sea Islands confirms this theory.

Passages As a rule, an atoll has more than one passage, although some have none at all. No passage is cut on the following atolls: Etal, Minto, Pakin, Namorik, Eauripik, Mokil and Pingelap (Fig. 92). However, the submarine topography indicates that formerly these atolls were equipped with passages. Deep marginal furrows are suggested and the reef-flat is relatively low in the area which may have been occupied by a former passage. The passage may also be choked with coral growth such as that in a small atoll of the Ifalik (Hurukku) Islands (Fig. 153 B). The current flowing out from the lagoon of an atoll through a single passage at ebb tide is extremely swift and navigation is impossible. Examples of such currents may be observed in Pikar, Taongi and Ebon atolls.

The number of passages, as well as the number of cays, generally increases with the circumference of the atoll. (Graph 2) The distribution of passages in the atolls differs from that of the cays. Most of the passages are on the western side, but a few on the northern.

The characters of the passages are somewhat similar to those of the passages in the barrier reef. However, the outer reefs of the atolls commonly turn inward at the entrance of a passage, thereby extending the length for a considerable dis-

tance. Such passages may be seen in Ant (Fig. 97), Ebon and Jaluit Atolls.

Kwajalein Atoll leads with 28 passages, followed by Majuro Atoll with 25. A number of atolls are limited to a single passage, namely, Bikar, Taongi, Utirik, Taka, Ebon, Helen, Ngaruangl and Kayangel Atolls.

The number of coral islets crowning the reef-flat varies; on the Kwajalein reef, there are 84, and on Jaluit, 83. As shown in Gragh 2, as a rule, number of the coral islets increases in proportion with scale of the circumference of the atoll. However, this is not always true; some of the atolls do not follow the frequency curve indicated on the graph. The atolls with more than the normal number of coral islets in ratio to the circumference of their atolls are: Ifalik, Nukuoro, Greenwich (Fig. 151), Ailuk, Aur, Wotje, and Jaluit, which are all in the East Caroline Group and its eastwards with the exception of Ifalik in the West Carolines. The atolls with fewer than the normal number of coral islets in ratio to the circumference of the atoll are Helen in Tobi, Ngulu in Yap, Nomonuito in the West Carolines and Oroluk in the East Carolines.

Problems concerning the distriubtion of coral islets on atolls have been studied about the Marshall Group. Most of the islets are on the eastern and southern sides and a few on the northern and western sides of the atolls. However, the reverse distribution is common in the zone of the equatorial counter current. It indicats that the distribution and form of the coral islets is governed largely by oceanographic and meteorologic conditions such as currents, wind directions, etc.

The average number of cays on each atoll in each group is as follows: slightly less than two in the Palau Group; 8 in the West Carolines; 14 in the East Carolinse; 35 in Ralik; 38 in Radak, and 26 in the Central Group. The Marshalls lead, and the number of cays in the other groups decreases as the distance from the Marshall Group increases. It is to be expected that the number of cays is less in the West Carolines where small atolls are dominent. Despite of the fact that the atolls in the East Carolines are almost as large as those in the Marshalls, the number of cays in the East Carolines is notably less. It suggests there are other governing causes, such as meteorologic and oceanographic differences between the Marshalls and East Carolines and possibly a difference in the orogenic movements to which the two groups may have been subjected. The material available to the author is inadequate for a decision.

Reef-Flats The width of the reef-flats of all the atolls in the world

averages 500 meters. The reef flats of atolls are wide, as a rule, if their lagoons are shallow, but they are narrow if the lagoons are deep. This principle, however, is not always hold.

Crustal movement is one of the governing factors in determining the width of a reef-flat. Other factors such as sea current, wind direction and wind velocity also must be considered. A reef-flat is well developed where wind and current directed toward it and poorly developed if the reef is on the lee side and the current is directed away from it. With one or two exceptions, the reef-flats of the atolls in the South Sea Islands confirm these trends and the width ranges from 500 to 600 meters. There are, to be sure, slight differences. The average width of the reef-flat is 600 meters in the Palaus; 500 meters in both the West and the East Carolines; 500 meters in the Ralik and Radak Groups; and 530 meters in the Central Group.

In general, the outer reefs of the atolls are relatively simple and monotonous and not so wide as the outer reefs of barrier reefs.

The broad outline of the atoll reef-flats is fairly simple and similar. But in detail, they are complex and differ in different atolls and in different parts of the same atoll.

The shape of the reef-flat differs on the inner and outer sides of the coral islets. The outer reef side is generally level and is exposed at low tide.

The reef-flat on the lagoon side is not so clearly defined as that on the ocean side; it is not pavement-like, but is usually floored with sand and dips gently away from the shore. As a rule, *Enhalus* and *Halimeda* grow abundantly in the inner zone of the inner reef-flat, and corals in the outer zone of the lagoon reef-flat. In exceptional localities, there is a Boulder zone on the outer margin of the outer zone and mushroom rocks on the inner subzone of the inner zone.

Corals thrive on the walls of the marginal furrows on the outer reef-flat and on the outer zone of the lagoon side of the reef-flat, but they thrive best on the lagoon slopes and on the outer slope facing the open sea.

The marginal furrows on the outer zone of the outer reefs dip away from the reef margin. The extend beyond the outer sea slope, but the distance to which they extend has not yet been determined. They are present in all depths visible from aircraft. This steep marginal slope offers optimum conditions for coral growth.

Young, Mature and Old Stages of Atolls When a central island of an almost atoll becomes extinct, the almost atoll begins life anew as an atoll. If the foundation subsides at a rate favorable to continuous coral growth, the circumference of the reef ring may be gradually reduced. Although the corals are growing on the outer margin, they are broken down by the waves and their fragments form a slope with a fixed angle. Meanwhile, the rate of growth on the inner margin should be greater for wave action is less severe. Coral colonies broken down on the outer reefs are more than balanced by coral growth on the inner reefs. Reef flats therefore may maintain a fixed width. A decrease in the number of passages and deposition on the lagoon floor are coincident. The depth of a lagoon is a factor of the rate of deposition on the floor and the rate of subsidence.

If an atoll is large, the reef-flat is small compared to the area of the lagoon floor. As the area occupied by the lagoon diminishes, the relative size of the reef-flat will be increased. Furthermore, if the number of passages decreases, the lagoon becomes more shallow. A shrinkage in the circumference of an atoll to less than 50 kilometers seems to be accompanied by an abrupt change in the depth of the lagoon (Graph. 1). According to this reason 50 kilometers circumference has been chosen to divide the atolls into large and small by author.

If similer conditions prevailed on all the atolls, then the smaller the atoll the fewer the number of passages, and the more shallow the lagoon and the older the atoll; conversely, the larger the atoll, the more numerous the passages, and a lagoon about 70 meters deep would indicate a young atoll. Youthful and mature stages of atolls may thus be recognized. An almost table reef may thus be considered the old stage of an atoll.

If the land and the sea remain static for a long period after an atoll has been formed, the reef-flat of the outer reef may grow a little toward the sea. The inner side of the reef-flat may also expand and unite with an isolated reef. The line of juncture will be marked by a furrow and the area of the lagoon diminished. The resulting reef is a plateau reef.

The following atolls have been recognized:

Yap Group: Ngulu Island; Palau Group: Ngaruangl Island and Kayangel Island; Tobi Group: Helen Reef; West Caroline Group: Ulithi, Faraulep, Nomonuito, Pulap, Sorol, Woleai, Ifalik, Elato, Puluwat and 6 other small atolls; East

Caroline Group: Nomwin, Ant, Pingelap, Losap, Namoluk, Satawan, Etal, Nukuoro, Greenwich and 8 other small atolls; Ralik Group: Wotho, Kwajalein, Namu, Jaluit and 6 other small atolls; Radak Group: Bikini, Wotje, Arno, Mille and 11 other small atolls; Central Group: Taongi, Bikar and Ailuk.

A few of the atolls are considered in some detail.

Namonuito (Ororu or Onon) Atoll This is a triangular atoll (Appendix Fig. No. 11); the northeastern side is 60 kilometers long; the northwestern, 73 kilometers; and the southern side, 83 kilometers. The reefs which emerge at low tide are primarily distributed at the tips of the triangle and on each reef is a coral islet. The submerged portion of the atoll forms a shallow reef 10 to 20 meters below the surface. Four coral islets rise on the northeastern side, but the northwestern and the southern sides are, for the most part, submerged. The area of the islets is very small in comparison to the circumference of the reef ring.

There are several passages; six of considerable depth on the southern side; two on the northwestern side but none of any importance on the northeastern side. The depth of the lagoon is generally 50 to 70 meters, but, locally, it may exceed 90 meters. From the inner edge of the atoll, the slope drops abruptly like the face of a cliff to 40 meters and, from that depth, the descent is gradual to the center of the lagoon. A number of isolated reefs, both columnar and domed, break the surface of the lagoon.

Olol (Ororu) Island is a coral islet in the southwestern part of the atoll. The shore of the lagoon is sandy and that facing the open sea is gravelly. Recent limestone, primarily of foraminiferal sand is being deposited both on the ocean and lagoon side. A coral conglomerate may locally underlie the limestone. The outer reef-flat, 30 meters in maximum and 10 meters in minimum width, is like a pavement. Mushroom rocks of corals and foraminiferal limestone, 30 to 60 centimeters high, are scattered here and there over the flat where a few disc-shaped colonies of corals are growing. Coral masses are heaped up to form the boulder ridge of Shingle rampart which serves as a breakwater against heavy waves. There is a depression zone behind the boulder ridge; in front of it, on the outer margin of the reef-flat, the Nullipore ridge rises a little above the surface of the flat.

Nukuoro Atoll Nukuoro Atoll (Fig. 85) is almost circular and 22 kilometers in circumference. The single passage is on the southeastern side. There

are 46 coral islets, most of them in the northeast quadrant and the adjacent half quadrant. It is important to note that a large isolated reef exposed at low tide lies near the center of the lagoon and that double rings are formed. The distance between the two rings is generally 500 to 100 meters and the depth is approximately 20 to 10 meters. Furthermore, the lagoon is extremely deep, 108 meters, the deepest among the atolls of the South Sea Islands.

Isolated reefs in the central part of a lagoon as large as those of Nukuoro and Greenwich (Fig. 151) are exceptional. Their distribution is very irregular, especially near passages. They are not arranged in series or chains, but they rise from the lagoon floor either in columnar or in domed outlines. Bench-shaped isolated reefs are relatively few, and coral islets on isolated reefs are rare. However, coral is strewn over the gravel floor of the reef-flat and mushroom rocks are standing here and there. The coral islets favoring a dense growth of palm trees are on the inner side of the passages and adjecent to the outer reefs. In other characters, the isolated reef cays are similar to those on the outer reefs.

The reef-flats around the coral islets are narrow on the lagoon side and wide on the outer sea side. On the reef-flat of the lagoon side, corals are living and growing, but on the outer sea side there is no coral growth and the surface of the reef-flat is like pavement and floored in part with gravel. Recent limestone is deposited nearly horizontally on the outer coast of the coral islets.

Jaluit Atoll The atoll is rhombic in outline and 152 kilometers in circumference. Three of the 5 passages are on the northeastern side. The outer reefs turn lagoonward at the edges and connect with the isolated reefs forming long and narrow passages. The depth of the lagoon is approximately 30 to 40 meters. Numerous isolated reefs of varied shapes, columnar, dome shaped, and flat topped, dot the waters; the largest among them is Breakfast Island (Fig. 86) which is 1.7 meters above the reef-flat and composed of limestone containing many *Tridacna*. 53 of the 85 coral islets are on the northeastern side of the atoll. However, all those on the northeastern side are small and in sharp contrast to the few longer and larger islets on the southeastern side. Among the longer and larger cays are Aineman and Jaluit Islands (Fig. 87) composed almost exclusively of coral gravel. The coral limestone on the lagoon side is laid down horizontally and, at the edge of the island, it drops adruptly 1.5 meters to the reef-flat. On the inner coast of Jaluit Island which is in line with Jabor Island the pavement-like reef-flat

terminates in a miniature cliff 1 meter high (Fig. 88). The vertical trunks of the corals compose the lower part of the cliff and the horizontally stratified coral gravel conglomerates, the upper part. Coral gravels and sands overlie the conglomerates and favor the growth of palm trees. The deposition of limestone at the inner margin of the reef flat is continuous and parallel to the beach line. The outer zone of the reef-flat is a pavement-like surface on which mushroom rocks are dispersed mostly of coral limestone and approximately 1.5 meters high. The truncated surfaces of reef building corals are also common.

Taongi (Pokaakku) Atoll Taongi atoll is crescent with convex directed eastward. One narrow crocked pass opens on the west side and through it, the lagoon water escapes at low tide in very swift current.

The lagoon is 10 to 15 meters deep; there are two reef rings on the northern side and the trench between the rings is about 3 meters deep (Fig. 150). Numerous mushroom rocks, 3 meters high, are distributed over the reef-flat. The largest is called Mitu (Mitsu)-Iwa (three rocks). Locally, the inner margin of the reef is changing gradually into the outer margin of the lagoon floor.

The numerous corals are restricted at the eastern side. A horizontal limestons (Fig. 89), 10 to 20 meters wide and 2 meters above the reef-flat, fringes the lagoon shores of the cays. The outer margin of the beach is notched; at the level of the base of the notch, living corals are growing. Recent limestone, tilted seaward, outcrops on the outer coast facing the open sea. The highest point of the coral islets is, as a rule, in the boulder zone, but, in Taongi Atoll, one of the sand dunes overtops the boulder zone and rises to 7 meters.

Namorik Atoll The atoll (Fig. 90) is rudely rectangular and 19 kilometers in circumference. Most of the lagoon is about 5 to 10 meters deep, but on the eastern side the depth abruptly drops 60 to 70 meters. Three soundings on the eastern side are specially deep and the maximum of 90 meters was recorded. Although Namorik is the smallest atoll in the Marshall Group, the lagoon is the deepest. There is no passage, but 2 coral islets crown the reef. The character of the outer reef-flat of the coral islets is similar to that of Jaluit Island. The mushroom rocks are also more numerous, approximately 2 meters high and so large that occasionally trees grow on them. The transverse furrows carved on the reef-flat are noteworthy. On the lagoon coast, corals are living and building a flat reef.

b Submerged Atolls

The depth of the outer reefs of submerged atolls generally ranges between 20 and 10 meters. The lagoons of the submerged atolls are not so well covered by soundings as those of the sea level coral reefs. However, so far as we know, the depth of the lagoons of submerged atolls seems to be comparable to the depth of the lagoons of sea level coral reefs. The lagoon of Mc Laughlin Bank is the deepest of its kind (86 m). This depth does not apparoch the record for the sea level coral reefs which is 108 meters. Except for Velasco Reef (Appendix Fig. No. 17) in the Palau Group, the submerged atolls are all in the West Carolines. Fourteen have been sounded. Mc Laughlin Bank and Gray Feather Bank are perhaps best known.

Mc Laughlin Bank Mc Laughlin Bank, 110 km in circumference, is slightly elliptical and measures 30 km from east to west and 22 km from north to south. The average depth of the lagoon is 50 to 70 meters; the deepest in record is 86 m in the northeast part of the lagoon; the most shallow is 13 m.

Gray Feather Bank Gray Feather Bank is an elliptical submerged atoll, its long axis extending 74 km north-south, the short axis, 46 km. The southeastern part of the atoll is sounded approximately 20 m below sea level, with a minimum depth of 15 m; the northwestern part is approximately 35 m below sea level. The lagoon is 50 to 70 m deep, indicating a relative depth (difference between the reef surface and lagoon floor) of 30 to 50 m. The deepest point is near the center. The eastern slope is steeper than the western slope.

Double Ring Atolls Double ring atolls may be related to submerged atolls. The so-called double reef ring atolls are formed by the outer reefs of a barrier reef or atoll. No example of such a barrier reef can be cited in the South Sea Islands, but Nukuoro (Fig. 85). Ant and Taongi are examples of double atolls, and Greenwich (Fig. 151) seems to be a triple atoll. Professor Aoki has already noted a topography suggesting double rings on Kita-Daitō Zima, presumably a raised atoll. The lagoon of Nukuoro is the deepest, that of Taongi is the most shallow and that of Ant is intermediate. Apparently, the formation of double reef rings is not related to the depth of the lagoon.

Supposing an atoll possessing a substantially wide reef-flat is suddenly submerged beneath the sea. Corals will attach themselves on the inner and outer

margin of its reef ring, but those on the outer margin will grow more abundantly and those on the inner margin will not thrive so well. Double reef rings may thus be formed.

The outer reefs of an atoll turn inward to form long passages and may unite with isolated reefs (Fig. 97). The tips of the reefs flanking the passages tend to turn parallel to the inner coast of the outer reef, indicating a coastal current. This coastal current seems to compel dome-shaped isolated reefs to develop parallel to the beach line. Eventually, these isolated reefs may be connected to form an inner reef ring and the phenomenon of double reef rings may be accomplished.

A coastal current may be created if a wind from a certain direction sweeps diagonally along the coast. If the inner mouth of a passage is turned parallel to the beach line, the coastal current will be affected by the current entering through the passages. Isolated reefs will be built at an equal distance from the coast line only in case the inner slopes of the lagoons are uniform. In the double reef rings on Truk Almost Atoll, the outer reef forms the outer ring and the inner reef forms the inner ring. The distance between the two rings is much greater than in other double atolls. We may assume an island group subjected to crustal movement similar to that of Truk; the central island of the group is a low plateau instead of a cone and the barrier reef is adjacent to th coast. If the barrier reef was subsequently submerged, the outer reef may form the outer ring and the inner reef, the inner ring; the resulting double ring atoll would be similar to that of Nukuoro.

In summary, the causes of the formation of double ring reef rings may be traceable to crustal movement and to coastal currents in lagoons. However, double ring atolls are so rare that materials for their study are inadequate and their origin may be due to special conditions.

The so called twin atolls in the South Seas are of 2 origins; (1) they may result from 2 atolls fused into one, such as Velasco Reef, a submerged atoll, and Ngaruangl Atoll (Appendix Fig. No. 17); or (2) from an isolated reef connected to the outer reef which has traversed the lagoon and divided it into 2 parts; the gourd shaped Woleai Atoll is the result of such a growth (Appendix No. 14).

c Raised Atolls

On the maps, the summit of Mt. Lamlam, Guam Island, looks like a huge crater, but actually, it is a raised atoll of Mariana Limestone Age (Fig. 121). The outline is triangular and the circumference is approximately 4.5 km. The outer reef includes 2 reef segments and 2 passages in the northern part. The area representing the old lagoon forms a basin which, in the center, reaches the maximum depth of 130 meters.

A sudden change of slope (Fig. 122) may, however, indicate that basin is a doline and the creation of a later period. In that case, the lagoon, at the time of formation, may have been approximately 100 meters deep. It is interesting that this depth is equal to the maximum depth of a sea level atoll.

As Fig. 122 indicates, the foundation is generally flat with an eastward dip. If the contacts of the basement rock and the limestone seen on the eastern and western slopes of the atoll can be tied together, the line thus drawn approximates the basin floor. There are limestone caves in the vicinity of the contact on the eastern slope in which water accumulates in such a quantity that it becomes the present principal water source on Guam. In the vicinity of the contact on the western slope, there is no limestone cave and no water table, which may indicate that the foundation is tilted to the east. Furthermore, the maximum elevation of the surface north and south of Mt. Lamlam is on the western edge, a further argument that the foundation is perhaps an eastward tilted peneplane. The possibility of forming of a doline in the central part of the basin may be verified through a study of the basin floor. The thickness of the limestone which forms the outer reef is estimated 150 meters at the most.

The raised atoll of Angaur is on the northwestern edge of the island (Fig. 120). It is of Mariana-Palau Limestone Age and is surrounded by younger raised barrier and fringing reefs. The outer reef of the atoll has a passage, and embraces a lagoon. The lagoon where the phosphate ore is deposited is 30 meters deep.

An irregular depression on Nauru Island is partially filled with water; the basin is off center toward the southwest. Two theories have been advanced to expalin this lake basin; one is to consider it as a relict lagoon, the other as a doline. The former theory seems the more reasonable. The basin is believed to be of Caroline Limestone Age.

Two reef ridges have been reported at the outer margin of the outer reef of Nauru raised atoll. They may, perhaps, be formed of Older Raised Coral Reef Limestone and represent the outer reef of the raised barrier reef.

7 Almost Table Reefs

a Sea Level Almost Table Reefs

An almost table reef is intermediate between an atoll and a table reef (Fig. 100). Like the atoll, it encircles a lagoon, but the lagoon is relatively very small and shallow. The almost table reefs are usually much smaller than the atolls. Wake, the largest, has a circumference of only 23 km. The lagoons are shallow, generally less than 5 meters deep, but a depth of 20 meters is recorded. Most of the lagoon floors are exposed at low tide and appear as sandy plains.

The cays on the almost table reefs are similar to those of the atolls, but they are relatively few, and the nine cays on Knox represent the maximum. The form of the reef-flat closely resembles that of the outer reef of the atolls. Wake Island, in the Central Group, is only the almost table reef that is not considered in some detail.

Parece Vela (Douglas Bank) (Appendix Fig. No. 16) The almost table reef of Parece Vela is elliptical and 8 km in the longest diameter. The lagoon is extremely shallow and averages only 4 meters, maximum 5.5 m in depth. Numerous disc-shaped reefs connected to the level outer reef make the lagoon basin narrow and obscure the inner margin of the outer reef. But the outer margin of the reef is clearly defined. The inner reef-flat is not sufficiently however, consolidated to form a pavement, but there are numerous cracks on its surface. The caverns underneath the cracks provide excellent shelter for fish, and corals thrive on the walls (Fig. 99).

The reef-flat is slightly lower on the extension line of a large marginal furrow, but there is no passage across it, and no other furrow on the eastern side of the almost table reef.

A single mushroom rock, 2.8 meters high, stands on the western edge of the reef flat. The column of the mushroom rock is a foraminiferal limestone, and the crown a coral limestone. At the time of the survey, there had been also a large 'exposed rock' which was reported to have been carried away by a subsequent storm.

Losiep The almost table reef of Losiep (Fig. 100) is lenticular and trends E-W. The long diameter measures 5.6 km; the short diameter 1.3 km. The circumference of the reef is 12.8 km. On the navigation chart, it is indicated as a single table reef, but actually it includes a lagoon. The usual depth of the lagoon is 3 meters, but in the southwestern part it deepens to 20 meters. Three coral islets crown the reef flat. On the western tip, the coral islet is divided with the seasonal tide into two cays.

The outer slope on the southern side of Losiep is steep and cliffy, while that on the northern side is gentle.

Knox (Narikirikku) Knox almost table reef in the southeasternmost part of the Marshall Group is elongated north-south. The length is 7.5 km; the width, 1.5 km; the circumference, 16.5 km. The lagoon is extremely shallow, and in the northern half, almost emergent at low tide; in the southern half, the depth is about 3 to 4 meters. The lagoon is floored with sand and barren, without animal or plant life. Nine coral islets, including Knox, Airinyo, etc. and nine small sand cays without vegetation are distributed over the reef-flat. The reef-flat is like a pavement. The inner zone is floored with sand, and may be terraced, with small scarps between the terraces (Fig. 101). A few 'exposed rocks' have been observed on the outer zone. Recent limestone is in process of deposition on the outer sea coast, and landward dips are locally reported.

b Submerged Almost Table Reefs

Supply Reef Supply Reef, 300 meters in diameter, near the northern end of the North Marianas between Uracas and Maug. The position, topography and bottom character clearly indicate that this reef is formed by corals attached to the crater wall on the summit of the Supply Submarine Volcano (Fig. 111). The maximum elevation of Supply Reef is 8.3 meters below sea level, and the central part, 5 to 10 meters lower than the margin. The shape thus presented closely resembles the shape of a sea level almost table reef. If the foundation maintains its present state or rises gradually, Supply Reef may form a table reef by gradual filling of the central portion by coral fragments and by living corals.

Ianthe Shoal Ianthe Shoal is divided into the East and the West Ianthe Shoal. The East Ianthe Shoal is subdivided into East (I), Central (II) and West (III) Shoals. The I and III-Shoals may be submerged table reefs and only the II-

Shoal, a submerged almost table reef. The central gourd shaped shoal (II), is the largest ; the small circular portion of the gourd is 3 km in diameter ; the large circular end is 6 km in diameter, and the neck is 1.5 km wide. The reef-flat is conspicuously flat and supports poor growth of living corals. Most of the corals are dead and encrusted by calcareous algae. *Halimeda* is dominant. The most shallow areas of the reef-flat are on the northern and southern tips of the central shoal and are 14 meters below sea level. The maximum depth is 30 meters at the neck of the shoal. The outer sea slopes may be shown by parabolic lines. The dip of the southeastern slope is 45° to the depth of ; 500 meters 30° to 1.000meters ; and 15° to 1,500 meters. The existence of a depression suggesting a submarine valley is of special interest, and indicates that the submerged almost table reef may have been formed on a submerged dissected volcano. If so, the East and West Shoals should be lateral volcanos ; the depression on the slope, a radial valley ; and the indentation from the east on the Central Shoal, an explosion crater.

c **Raised Almost Table Reef** (Fig. 114)

Raised almost table reefs of Mariana Limestone Age exposed on the summit of the island of Aguijan. No. 1 and No. 2 reef terreces (in sequence from upper to lower) form the outer reef, and No. 3 reef terrace, the lagoon floor. The outer reef of the former sea level table reef is flat, but that of the raised almost table reef is high on the northern side (No. 1 terrace) and low on the southern side (No. 2 terrace). In this character, the raised reef differs from the sea level reef, but in other characters, such as scale, depth of lagoon, etc., the reefs are similar.

The thickness of the reef limestone is not known, for the foundation of the raised almost table reef is not exposed. However, in Saipan and Tinian, the basement rock in the central part of the island is overlain by Aguijan Limestone and old Tertiary limestones, which, in turn, are overlain by Mariana Limetone. The elevation of the island is 187 meters, but this can not be considered evidence of the thickness of the Mariana Limestone, because some of the foundation rock may be included in the section. The thickness of the limestone is possibly 50 meters.

8 Table Reefs

a Sea Level Table Reefs

A table reef is a small coral reef without central island or lagoon. All table reefs are small. Mejit, 9 km in circumference, is the largest; Gaferut, 3.2 km in circumference, is the smallest. Only a single cay has been built up on the reef-flat. However, the boulders piled up on the reef-flat of the North Manila Reef may later develop into a cay. On reef margin sometime Nullipore ridges are seen.

Mushroom rocks and recent limestone are poorly developed. The outer sea slopes are comparatively steep. Most of the table reefs are isolated islands depressed in the center. Phosphate deposits are commonly associated with the depressions. The table reefs are of two types. Those of the first type rise independently from the ocean floor; those of the second are to be seen near atolls and are apparently related to them in the same way that a lateral volcano is related to a volcano. The table reefs and the atolls are not necessarily separated by deep water. The following table reefs are of the second type: Jabwot Table Reef near Ailinglap Atoll; Falalop Table Reef near Ulithi Atoll (Appendix Fig. No. 15); North Manila Table Reef in the northern part of Middle Manila Atoll; and Pulusuk Table Reef (Fig. 110) near South Manila Submerged Atoll. With the exception of Jabwot Table Reef, all of the second type are included in the West Carolines.

As a general rule, the outline of a table reef resembles that of a coral islet. Most of them are elliptical. The shape of the coral islet resembles that of an islet on an atoll, boulder ridges are heaped up on the side prevailing east wind and low sand dunes on the leeside of the wind. Beautiful foreminiferal and coral sand beaches slope gently to the reef-flat on Satawal Island. The central marshy areas are generally lower than those in islets on the atolls; some of them contain salt water and form small lakes. The depth of these marsh lakes does not so much differ from that of the lakes on six of the almost table reefs, but the area occupied by them is much smaller. Mejit (Fig. 106), Lib and Pulusuk (Fig. 110) Table Reef have small lakes, and Kili, Pulo Anna and Tobi Table Reef (Fig. 107) have relatively very large marshes.

The following table reefs have been recognized: Tobi Group: Fana (Fig. 26), Sonsorol (Fig. 26), Pulo Anna, Tobi (Fig. 107), Merir (Fig. 102), West Caroline Group;

Falalop, Gaferut (Fig. 103), Pikelot, Satawal, Pulusuk, North Manila; East Caroline Group: East Fayu, Nama; Ralik Group: Jabwot, Lib, Kili; Radak Group: Mejit, Jemo; Central Group: Marcus Island (Fig. 109).

Merir The table reef of Merir, is an irregular ellipse trending north-south; the long diameter is 3.6 km; the short diameter, 1.4 km; the circumference is 8.2 km. A single coral islet, known as Merir, exhibits the characters of a table reef. The low central area is a marsh; the eastern coast, a gravel beach; and the western coast, a sand beach. Dome-shaped knolls of sand and gravel, possibly sand dunes, rise 8 meters above the reef-flat near the western end. Recent limestone dipping 10 degrees seaward is deposited below the sand beach and seems to be striking diagonally against the shore line. The reef-flat may be divided into three zones. The inner zone extends almost horizontally from the shore line and occupies the greater part of the flat. A part of the zone is pavement-like and a part of it is covered with coral gravel. Most of it is exposed at low tide. A few corals are living and growing in the shallow reef pools scattered here and there. The middle zone is 5 to 10 meters wide and dips 5 degrees seaward. A few colonies of massive corals, lapped by the waves at low tide, are scattered over the reef. The outer zone dips 20 degrees seaward and remains submerged at low tide. Coral growth is thriving, especially in the furrows which trench the outer margin. The outer northern and southern slopes are gentle, but the eastern and western dip 40 to 50 degrees to a point 600 meters off the coast.

Gaferut (Fig. 103) The table reef of Gaferut is a crude half circle with the convex side facing east. The length of the arc is 1.1 km. Gaferut is the only island on the reef. The shape of the island corresponds roughly to that of the reef. The northern half of the island is chiefly sandy and the southern half primarily gravelly. Recent limestone (Fig. 104) emergent at low tide, is best exposed toward the western end where it strikes northwest and dips 5 to 10 degrees to the southwest. Four recent limestone ridges may be discriminated near the southern coast. The inner ridges are of foraminiferal sandstone and the outer of coral conglomerate; they strike East-West and dip 5 degrees. The central part of the island is flat-topped and rises 5 meters above the reef-flat. The upper surface is level and built of coral limestone (Fig. 105). This limestone is altering to phosphate ore; it conformably overlies a brown clay; and the brown clay, in turn, conformably

overlies a foraminiferal sandstone, and the sandstone, the coral gravel and foraminiferal sand bed.

The reef-flat is extremely wide on the northwestern side. The inner zone of the reef-flat is not exposed at low tide, and is dotted with shallow pools about 0.5 meters deep. Seaweeds are growing over the reef floor, and mushroom rocks, 2.5 to 3 meters high, are standing here and there.

Mejit Mejit Table Reef measures 3.8 km from north to south and 2.4 km from east to west. Mejit, a coral islet, indented on the western coast, is the only islet on the reef. The reef-flat is narrow on the eastern coast and wide on the western. It is not exposed at low tide. A depression, 2 to 1 meter deep, on the reef-flat of the western coast, may be a relict lagoon. The present lagoon which is said to be 4 meters deep is at the northern edge of the island and is fringed with mangrove. At high tide, the depression and the lagoon are connected by a stretch of water (Fig. 106). Phosphate ore has been found near the nothern and suthern coasts. The western outer slope is much more steeply inclined than the eastern lagoon slope. On the eastern side, the dip is 30° to a distance of 400 meters offshore; but on the western side, the dip increases to 65° to a distance of 600 meters offshore.

Lib (Erippu) The Lib Table Reef is 2.1 km long and 1.3 km wide. The circumference is 5.0 km. The coastal area of Lib, the single island on the reef, is relatively high and is built up of coral gravel; the inland is relatively low; the shallow lagoon is eccentric toward the east end of the island. The lagoon was not sounded, but it is probably about 5 meters deep and is encircled by mangrove trees. Bedded recent limestone, most of it deposited in the eastern half of the island, is elevated 1 meter above the pavement-like reef-flat. No 'exposed rock' is found on the reef-flat.

b Submerged Table Reefs

Despite of the fact that there are 38 submerged table reefs, Ianthe Shoal is the only one actually surveyed. Therefore, we cannot assume that the characters of all submerged table reefs are similar to the single submerged table reef that is known in detail. The corals are poorly developed on the reef-flat of Ianthe Shoal, but this is not necessarily true of all the shoals. Present informations indicate that the submerged table reefs are relatively large in comparison with the sea

level table reefs. The East Shoal of East Ianthe Shoal is 21 km in circumference. Helene Shoal is still larger.

Tatsumi Reef (Fig. 112) is 3 km off the southeast coast of Carolinas Hill, Tinian Island, and on the eastern extension line of Aguijan Ridge. The geomorphological character and position indicate that it is a faulted block tilting southward. The top surface of the block is flat and 10 to 30 m below sea level, minimum 6.8 m. It measures about 2.5 km by 1.5 km. The author did not himself observe it but the fishermen's report indicates reef building corals living and growing on the surface. In short, the reef may be a submerged table reef.

c Raised Table Reefs

Raised table reefs are of two types. The first type, of Mariana Limestone Age, is represented possibly on Medinilla; certainly by thin beds on the summits of Mt. Nafutan and Mt. Kagman on Saipan; on the summit of Mt. Sawanetawati (Sawanetawachi) on Tinian; on the summits of Mt. Manila (Fig. 116) and Mt. Taipingot on Rota (Fig. 113), and on the summit of Mt. Barrigada on Guam. The surface area of these raised table reefs is small and the foundation, comparatively shallow and elongated, thus differing somewhat from the recent sea level table reefs. However, they have been much eroded since they were uplifted, and prior to the upheaval, they may have closely resembled the typical table reefs of the present day. The thickness, as determined from outcrops of the lower contact, is approximately 10 meters on Saipan, and 1 to 2 meters on Tinian; on Rota, also, the thickness is locally only 1 to 2 meters, but it increased to approximately 40 meters on Mt. Taipingot and, on Mt. Barrigada in Guam, to possibly 100 meters. This first type is confined to the Western Area. On the other hand, the second type is limited to the Eastern Area and includes the raised table reefs on Fais and Ocean Island. Both in scale and outline, these reefs resemble closely the recent sealevel table reefs. Three erosion remnants of Fais Limestone Age are exposed on the marginal area of the Fais Raised Table Reef. These erosion remnants are similar in character to the mushroom rocks standing on the reef-flats of sealevel table reefs. The Ocean Raised Table Reef is of Ralik Limestone Age. The thickness cannot be determined, for neither in Fais or in Ocean Island the foundation of the limestone is exposed.

IV GENERAL OBSERVATIONS ON CORAL REEFS

A Problems of the Coral Reefs

1 Non-calcareous Material on Coral Islands

Reef building corals, Foraminifera, calcareous algae, Mollusca, Echinodermata, sponges, Bryozoa, etc. are the construction materials of a coral island. Other and non-calcareous matter is extraneous. Pumice, however, is found in all coral islands, and will not be brought under discussion here.

a. Basalt gravel, in part intercalated in limestone, has been found on an isolated reef of Truk Almost Atoll and at a few localities on outer reefs.

b. Liparite gravels, scattered locally on the Jaluit Coast and Utwa Coast of Kusaie, are apparently from ballast washed ashore from wrecked vessels.

c. Boulders of crystalline schist are present on Pakin Atoll and granite, quartzite, and andesite boulders on Merir Table Reef.

d. One pebble of crystalline schist and two pebbles of basalt gravels are included in limestone (Younger Raised Coral Reef Limestone) on Etal Atoll.

e. The phosphatic reddish brown clay intercalated in the cay sandstone (Younger Raised Coral Reef Limestone) of Gaferut Island has already been mentioned. The analysis is as follows:

SiO_2	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	P_2O_5
3.28	48.97	3.17	2.50	19.35%

f. Beach sands on the lagoon shore of Marugai (coral islet) on Mille Atoll contain substantial amounts of magnetite and amphibole. Conditions of deposition rule out transportation by man or by wave action.

An interpretation of the iron sands on the Clipperton Almost Atoll may be analogous. This almost atoll is in the northeastern part of the coral groups of the Pacific Ocean. Its diameter is 3.7 km and its lagoon is 100 meters deep. According to Davis, the central island which forms the base of this almost atoll is not in the lagoon but on the outer reef, in the form of a volcanic rock mass 36 meters high and 90 to 120 meters in diameter. If such a central island was submerged about 40 meters below the sea level, an iron sand beach might be formed directly about the volcanic rock mass.

2 Older limestone gravels in Younger Raised Coral Reef Limestones

Dr. Yabe and Aoki reported small limestone gravels containing *Lepidocyclina* in reef conglomerate (Younger Raised Coral Reef Limestone) on Jabor Island in Jaluit Atoll. This discovery attracted interest as an indication of Miocene limestone at the core of Jaluit Atoll. These small limestone gravels may also be interpreted as gizzard stones; similar stones have been discovered on Kita-Daito Zima by Drs. Yabe and Sugiyama. The presence of the older limestone at the core of the atoll seems, however, to be a more reasonable explanation.*

3 Depth of Foundation Rocks of Atolls

The determination of the depth of the foundation rock is of great interest to all geologists. According to gravity derivation charted by professor M. Matuyama on Jaluit Atoll, the contact between the basement rock, possible a basalt, and the coral limestone was placed 500 meters below the surface. The test boring on Kita-Daitō Zima, a raised atoll, was executed by the members of the Geological and Paleontological Institute, Tohoku Imperial University, under the able leadership of Dr. H. Yabe. The results indicated that, down to 431.37 meters, volcanic rock was not encountered. This, together with Professor Matuyama's survey, suggests that the basement rock may occur at a substantial depth below the sea level.

The most accurate method of determining the depth of the foundation rock is the drill. Another possible approach is by the indirect determination of the depth through the geomorphological study of the outer slopes of the atoll. As a result of upward growth, the outer slopes of the coral reefs are generally steep, vertical, or locally overhanging. The difference in degree between these coral reef slopes and those of the detritus-covered foundation should be perceptible and the depth of that abrupt change in slope may indicate the depth of the foundation rocks. A sudden change in dip on the outer slope of Daitō Zima (raised coral reef) agrees substantially with the dense sounding points, but such points unfor-

* Dr. H. S. Ladd reported that Tertiary limestone with Lepidocyclina was placed 300 m below sea level at the bore of Bikini Atoll, Marshall Group.

tunately have not been determined for atolls in the South Sea Islands except Ulithi Atoll (Fig. 98).

The gravitational survey on Jaluit Atoll and the borings of Kita-Daitō Zima indicate a deep foundation, but, on the other hand, Mille Atoll, to which reference has already been made, indicates a shallow foundation. In close relation to the various problems of the foundation rock, is a critical collection made by the survey ship *Kōsyū* in 1932, which included one basalt pebble, walnut size from 300 meters depth on the seaward slope of Wotje Atoll. It is regrettable that no opportunity for a detailed study materialized due to the subsequent loss of the precious sample.

B Changes in Sea Level in Coral Reefs

Changes in sea level normally result from crustal and eustatic movements.

1 Relation between Coral Reefs and Crustal Movement

The dominant distribution of raised coral reefs and fringing reefs in the Western Area contrasts sharply with the dominance of submerged coral reefs and atolls in the Eastern Area and indicates the independence of the crustal movements in the two groups. Geomorphologic phenomena other than coral reefs support this theory. The reef terraces which have developed depositional surface give a clue to the elevation and mode of upheaval of the raised coral reefs.

Raised coral reefs are of two types; the first, of reef limestone less than 50 meters in thickness; the second, of reef limestone of a thickness exceeding 50 meters, the maximum limit of depth at which corals are building reef. The first type includes all raised fringing reefs; the raised table reefs of Saipan, Tinian, and Rota; the raised almost barrier reef of Rota; and the almost table reef of Aguijan. The second type includes thc raised table reefs of Guam, Fais, and Ocean; the atoll and barrier reef of Angaur; the raised almost barrier reefs and raised atoll of Guam; the raised barrier reefs of Palau and Yap.

Disregarding the raised frining reefs of the first type, all others less than 50 meters thick are restricted to the South Marianas which have not suffered subsidence. On the other hand, the limestones of more than 50 meters thickness are distributed through the Eastern Area, topographically an area of subsidence. This

evidence of the influence of crustal movement on the development of coral reef limestone is clear and significant.

Some of the limestones more than 50 meters thick were deposited in areas of general elevation, but during a period of dominant subsidence. As the reef foundation sunk, the corals continued to grow and build upward. In the subsequent age of elevation, the thick bed of reef limestone was raised above the sea. The thickness in excess of 50 meters indicates the extent of subsidence at the time of deposition, rather than the extent of erosion since elevation. The estimated maximum thickness of raised coral reef limestones of approximately Mariana-Palau Age are as follows; maximum thickness in Saipan, 20 meters; in Tinian, 30 meters; in Aguijan, 50 meters; in Rota, 60 meters; in Guam, 200 meters; in Yap, 10 plus meters; in Palau, 300 meters; and 45 plus meters on Angaur. These varying thicknesses cannot be the result of a uniform change of sea level, but they indicate varying degrees of crustal movement affecting the individual islands.

The approximate elevations due to upheavals since the deposition of the Mariana-Palau Limestone are: in the South Mariana Group; Saipan, 130 meters; Tinian, 170 meters; Aguijan, 180 meters; Rota, 500 meters; Guam, 410 meters: In the Yap Group; Yap, 10 meters: In the Palau Group; Urukthapel, 220 meters: Angaur, 45 meters: West Carolines; Fais, 25 meters: East Calorines; Nauru 70 meters: Ralik Group; Ocean, 85 meters.

Approximate elevations since the deposition of the Older Raised Coral Reef Limestone are for the South Mariana Group: Saipan, 20 meters; Tinian, 25 meters; Rota, 40 meters; Guam, 35 meters; Palau Group: Peleliu, 8 meters: Angaur, 8 meters: West Carolines: Fais, 20 meters.

The degree of subsidence is indicated by the drowned valleys of the central islands which are surrounded by lagoons. Drowned valleys are remarkably well developed on Guam, Yap and Palau in the Western Area and on Truk, Ponape and Kusaie in the Eastern Area. They are clearly traceable to depths of 20 meters on Guam; 70 meters on Yap; 90 meters on Palau; 110 meters on Ponape; and 70 meters on Kusaie. On Guam, surrounded by a fringing reef, the drowned valleys are the most shallow; on Yap and Kusaie, surrounded by an almost barrier reef, they are intermediate, and on those fringed by barrier reefs such as Ponape and Palau, the valleys are the deepest. The subsidence of land and the coral reef terrain are thus closely related. A drowned valley on Kusaie reaches a depth of 500 meters. A

similar type of drowned valley was traced in a volcanic area in the North Marianas and on the raised coral islands in the South Marianas. These peculiar topographies are not directly related to the sea level coral reefs. The upheaval and subsidence are influenced not merely by a simple vertical upheaval and subsidence but are also profoundly affected by the tiltings, up-warpings, and down-warpings of an individual ridge or island as an unit. As mentioned in the discussion of the Western Group the developments of terraces, valleys, drowned valleys and coral reefs in that area are evidences of crustal disturbance in the past. In crustal movement along a ridge axis, the middle of the ridge suffered the maximum upheaval and the nothern and southern extensions were less affected. Pagan Island, in the central part of the North Mariana Group, is a raised coral reef and the reefs at the north and south ends of the ridge are submerged. The same phenomena are evident in the South Mariana Group, and Mariana Terrace on Rota Island, in the central area, marks the maximum elevation.

A raised barrier reef toward the south end of the Yap Group and a submerged table reef in the north indicate a tilting from south to north. A raised coral reef in the south and a submerged coral reef in the north of the Palau Group indicate a similar tilting. A raised table reef in the west and numerous submerged coral reefs in the east of the West Carolines are evidence of an eastward tilting. On the other hand, in the East Carolines, the tilting is westward for the coral reefs evolve toward the west from almost barrier reef, to barrier reef, to almost atoll in Kusaie, Ponape and Truk, respectively; the depths of the drowned valleys increase westward; and raised coral reefs are evident at the southeastern tip of the group. The tilting is toward the northwest in the Central Group, for the character of the coral reefs changes from northwest to southeast. In Tobi and the Marshall Groups, the movement is simple and vertical.

Observations along the short axis of the ridges indicate that movement in the North Marianas resulted in steepening the western volcanic slopes and reducing the angle of the eastern slopes. In the South Marianas, judging from slopes, asymmetric development of coral reefs, and distribution of drowned valleys, the western side and perhaps the southern side subsided and the eastern and perhaps the northern side was elevated. In the Palau Group, judging from slopes and the asymmetric development of coral reefs, the effect of the movement was to reduce the degree of the western slope and to increase the degree of the eastern slope.

In Yap, judging from the evidence of slopes, terraces, and drowned valleys, a great horst was formed and tilted eastward. The Tobi Group apparently suffered horizontal upheaval and subsidence. The West Carolines were tilted southward from the northern edge where elevation had been greatest; i. e. from the Fais Raised Table Reef and the slightly raised Gaferut Table Reef on the north to large submerged coral reefs such as Helene and Ianthe Shoal in the south. Up-warping in the medial zone of the East Carolines declines outward with the dip. The mushroom rocks of Ant and Truk located on the central line are relatively high and volcanic rocks and raised coral islands are distributed along the long narrow middle zone. Down-warping toward the centre of the Marshall Group is indicated by the depths of the lagoons. The Central Group, like the Tobi Group, seems to have been affected both by upheaval and subsidence.

As the Yap and Palau Group clearly indicate, most of the South Sea Islands show alternate upheaval and subsidence including long static periods. One of the causes which may have been effective in the formation of the different topographies in the Eastern and Western Area is that in the Western Area, elevation was dominant; in the Eastern Area, subsidence prevailed.

In an area of elevation, the raised fringing reefs form terraces and in an area of subsidence, the fringing reefs pass in sequence to the stage of brrier reefs, to atolls, and to regular table reefs. When in an area of elevation, a submarine ridge rises to 50 meters below sea level, coral reefs begin to develop. If the surface is wide and flat, a bank atoll (Fig. 131 T) will be formed; if the surface is narrow, a bank table reef will result. If, in a subsidence area, however, the ridge sinks below 50 meters, the depth is prohibitive to coral growth and the ridge may sink in its original form.

2 Relation between Coral Reefs and Changes in Sea Level

With the exception of Fais, Nauru and Ocean Island, the Mariana-Palau Limestone and the Older Raised Coral Reef Limestone are confined to the Western Area. Their distribution and elevation differ in each group and in each island. However, the Younger Raised Coral Reef Limestones and the raised beach deposits are distributed both in the Eastern and Western Area. The raised beach deposit occurs at a substantially higher elevation, if it is associated with sand

dunes. The Yunger Raised Coral Reef Limestone is the lowest reef terrace in the Western Area and forms an abrasion bench of cay sandstone and mushroom rocks in the Eastern Area. Furthermore, it is approximately uniform in its elevation, 2 meters above the reef-flat surface. This may be better interpreted as the result of the overall lowering of the sea level rather than a localized upheaval of the crust. However, the Younger Raised Coral Reef Limestone, including the mushroom rocks and cay sandstone, is one meter higher on Rota, Guam, Gaferut, Truk, Ant and Taongi than on other islands. It is evidence not only of the lowering of the sea level but also of the elevation of the land.

A common depth of approximately 70 meters in the lagoons of atolls and drowned valleys on the almost barrier reefs of Yap and Kusaie may indicates that the sea level has been raised approximately 70 meters during recent time.

Obviously all lagoons are not 70 meters deep; some are deeper and some are more shallow. The deeper may be formed as the result of the rising of the sea level plus crustal subsidence; the more shallow may indicate the rising of the sea level puls the partial filling of the lagoon by deposition. The drowned vallays and lagoons of the barrier reefs are approximately 30 meters deeper than those of the almost barrier reefs. It is possibly the result of the rising of the sea level plus crustal subsidence.

C Origin of Coral Reefs

1 General Ovservations

The so-called Sea Level Coral Reefs are not of Recent origin. The Sea Level Coral Reefs have been generally accepted as recent, but most of the present reef-flats are abrasion surfaces, like pavements, displaying cross sections of truncated reef building corals, benches and mushroom rocks. The so-called Recent Coral Reefs are relicts of coral reefs of corals of the age of the Younger Raised Coral Reef Limestone. As Doctor H. Yabe has stated, the coral reefs, in the recent seas, are in process of destruction rather than of construction. The scope of the destruction, however, is limited to an area approximately 2 meters above low tide. On the other hand, the width of the reef-flat increases toward the outer sea and toward the lagoon by the building of new colonies on the reef margin of the truncated outer reef and by the growth of calcareous algae.

2 Theories of Darwin, Daly and Davis

Many scholars since the days of Ch. Darwin have pondered over the problems of coral reefs. Many theories have been advanced. Theories worthy of recognition by the majorities, however, are narrowed down to the subsidence theory of Ch. Darwin, the glacial-control theory of R. A. Daly and the eclectic that includes features of both schools which is fittingly represented by W. M. Davis (the marginal belt theory) and Ph. H. Kuenen (Glacial-control subsidence theory).

Darwin's subsidence theory attempts to explain the changes of coral reefs as a result of intermittent subsidence of the foundation. It assumes that fringing reefs develop vertically and maintain their elevation relative to the sea level in step with the subsidence of the foundation; thus, the fringing reef may become a barrier reef, and an atoll at last.

Daly's glacial control theory (Fig. 131) attempts to resolve the problem of coral reefs by changes in sea level. During the Ice Age, the level of the coral seas receded approximately 70 meters. At the same time, the temperature of the sea water was lowered and all coral growth perished. With the loss of the protection afforded by the corals, the rate of erosion was increased and abrasion platforms developed. Subsequently, the sea regained its former level and the temperature of the sea water rose sufficiently to permit corals to colonize on the outer margin of the reef-flats. Various types of coral reefs may have developed depending on the character of the abrasion surface.

The eclectic theory of Davis recognizes Darwin's theory and combines it with that of Daly. Davis maintained that glacial control substantially affected the marginal belt of the coral seas, but that it was not operative in the central area to the extent of destroying coral growth even during the Ice Age.

The following data support Darwin's theory:

a. An assumption in Darwin's theory which outlines the progress a coral reef from fringing reef to atoll, may be adopted theoretically for the progress of a coral reef from an apron to a table reef. Such series of coral reefs exist in the South Sea Islands.

b. Various types of coral reefs are distributed on system along the same ridge (example; Palau, Central Group).

c. Coral reefs possess regional characters and the distribution and develop-

ment differ in each group. Tobi Group is characterized by table reefs, the Marshall Group by atolls, and so forth: in short, coral reefs exhibit regionality.

d. Coral reefs and terraces raised above the present level of the sea and submerged coral reefs and drowned valleys manifest the violence of crustal movement in relatively recent time.

e. The thickness of the raised coral reef limestones such as those of Urukthapel and Guam reaches 150 to 300 meters and exceeds the limiting depth of living reef building corals.

f. Lagoons more than 70 meters in depth, such as those of Nukuoro, Namorik and Namonuito cannot be explained by Daly's postulated change in sea level during the Ice Age.

g. Magnetic survey tests conducted by Matuyama on Jaluit Atoll indicate the foundation of the atoll may be 500 meters below sea level.

h. Coral reefs probably exist in the South Sea Islands since the early Tertiary.

i. An abrasion surface, 300 kilometers in cricumference, such as that of the atoll of Kwajalein, could scarcely be formed within a geological period so short as the Ice Age.

j. Synchronous coral limestones, for example, the Mariana-Palau Limestone are not of uniform thickness on the different islands.

The following considerations favor Daly's theory:

a. With the exception of a few deep lagoons of large atolls and lagoons of atolls which may have been filled later, the fixed depth of the vast majority of the lagoons of the large atolls is approximately 70 meters. This depth coincides perfectly with the postulated change in sea level during the Ice Age.

b. The depth of the lagoons of barrier reefs, almost atolls and atolls are, as a rule, about the same. According to the subsidence theory, the lagoon of a barrier reef should be the most shallow and that of an atoll, the deepest.

c. The width of the reef-flats of the outer reefs is generally 500 to 600 meters in barrier reefs, almost atolls and atolls. If coral reefs begin to grow simultaneously, the width of the reef-flats should be approximately uniform after the lapse of a given period of time.

d. Many sea-cliffs of the central islands including Palau, Truk and Ponape, rise 50 to 100 meters. Lagoon waves alone could scarcely accomplish this work.

e. The abrasion surface on the shores of Yap, Palau and other islands is very wide.

f. The basement rock as indicated by the iron sand on Mille Atoll and the basalt gravels on the isolated reefs of Truk Almost Atoll may be close beneath the coral reef.

g. The elevation of the Younger Raised Coral Reef Limestone is fairly uniform throughout all the groups and is the best evidence of a change in sea level.

h. The lagoon floor of an atoll is extremely flat. It suggests that the floor may be a former abrasion surface.

i. A former abrasion surface is also indicated by the remarkable level contact between a raised almost barrier reef, such as Rota, and its foundation, and between a raised atoll, such as Guam and the rock beneath.

j. The former growth of Coniferae in the South Sea Islands clearly indicates a lower atmospheric temperature. A period of stability and peneplanation may have prevailed throughout the South Sea Islands during the Miocene.

3 The Author's Conclusions on the Origin of Coral Reefs

The author's brief conclusion as to the origin of coral reefs may be stated in the following paragraphs. Importance is attached to Darwin's theory of subsidence as a fundamental cause and the glacial control theory of Daly is considered an incidental factor which occurred during the period of the formation of coral reefs; in short, it is also an eclectic theory. The author, however, differs from Davis in the greater consideration given to glacial control, but nearly agrees with Kuenen.

It is probably true that coral reefs have been formed intermittently since the early Tertiary. Suppose that reef building corals have established colonies at numerous favorable sites along the coast of an island in the South Seas and have formed an apron reef which in turn has become a fringing reef. If the island was elevated intermittently, the fringing reefs of various ages would form terraces on the slopes. In that case, the older coral reefs should occupy the higher area in the central portion of the island and the younger coral reefs should be sequentially spaced in the lower areas. If the island, on the other hand, had been subjected to intermittent subsidence, as Darwin's theory maintained, the older coral

reefs would gradually sink beneath the sea and only the younger coral reefs would be represented above sea level.

Elevation seems to have prevailed in the Western Area, and subsidence in the Eastern Area. Theoretically, if a minor subsidence occurred between two major elevations, subsidence topography such as almost barrier reefs and barrier reefs should be in evidence in the raised zone. However, a minor upheaval between two major subsidences would leave no trace above the surface; if the upheaval followed one or more major subsidences, a low raised coral reef should be visible.

The coral reefs, in their long history since the early Tertiary, have been subjected to various catastrophic activities such as volcanism, diastrophism and possibly glaciation. Abrasion following the lowering of the sea level during the Ice Age may have not only destroyed most of the coral reefs formed in the previous age but also obliterated the reef-flats. However, some of them, such as those of the larger atolls may have maintained their original form even though the reef rings were broken down.

Abrasion surfaces formed during the Ice Age were submerged with the rise of sea level during the interglacial periods. Meanwhile, the water temperature also rose and corals began to re-establish themselves on the outer margins of the abrasion floor. The corals may also have grown again on those atolls in which the lagoons were not completely filled and which partially maintained their original form. Lagoons of such atolls should be relatively deep. Namonuito atoll may have had such a history.

We may assume that crustal movements continued to affect the coral reefs during the Ice Age and the inter-glacial epoch. The coral reefs, according to Darwin's theory, should have continued to grow, provided the interglacial epoch lasted sufficiently long. For example, through gradual crustal subsidence, a fringing reef of the early intergracial age may have evolved into an almost barrier reef by the late interglacial age. In the same manner, an almost barrier reef might evolve into a barrier reef; a barrier reef into an almost atoll; an almost atoll into an atoll; an atoll into an almost table reef and an almost table reef into a table reef. Under favorable conditions, a coral reef may progress through more than one stage during a single interglacial epoch and an almost barrier reef may become an almost atoll. If subsidence is relatively rapid, the depth of the lagoon may be increased or the entire reef may be submerged. In the second Ice

Age, the sea level may again have receded, and the coral reefs of the previous age appear a little above the sea and form the raised coral reefs. However, abrasion will be most vigorous on exposed areas, and mushroom rocks may be carved out and remain as erosional remnants on the abrasion platforms. Lagoons also may become more shallow. The second Ice Age was less important than the first. It did not greatly affect the temperature of the sea water and coral may have continued to grow on the slopes of the abrasion platforms and on the walls of the lagoons which remained unfilled. Apparent contradictions in topographical features seem thus to be harmonized.

The above approach indicates that the younger raised coral reefs were built in a later interglacial epoch and the Older Raised Coral Reef Limestone thus forms the foundation rock of the Younger Raised Coral Reef Limestone. In the Eastern Area, subsidence dominated elevation; therefore the Older Raised Coral Reef Limestones are completely buried by the Youger Raised Coral Reef Limestones and are submerged beneath the sea. In the Western Area, upheaval dominated subsidence; the Older Raised Coral Reef Limestones may be exposed in whole or in part and may form terraces at a higher elevation than the Younger Raised Coral Reef Limestone.

An important topographical unconformity between the Older Raised Coral Reef Limestone and the Mariana-Palan Limestone indicates clearly a crustal disturbance between these two limestones. The author agrees with Matuyama that the noncalcarous basement rocks probably lie at a substantial depth below sea level. Mille Atoll, however, must be exceptional. Possibly it is analogous to Clipperton Island, discussed by Davis.

The older coral reef limestones seem to be deposited directly upon the volcanic rocks, especially the basalt (Fig. 156). The younger coral reef limestones, in turn, may overlie the older coral reef limestones. However, in the course of deposition, due to the changes in sea level, some of the older limestones were destroyed and are included as gravels in the younger limestones. If this process is repeated, the older gravels will decrease in size and amount, and will eventually disappear. The absence of Tertiary limestone in the Quaternary limestone gravels may thus be interpreted, but the older limestone is probably in place beneath the coral island. Evidence of such a sequence is displayed in Jaluit and Kusaie Island.

4 Coral Reefs in the Stable Zone

The coral reefs not only change stage by stage from fringing to table reef as Darwin stated, but they may also reverse the stages of development in accord with the character, duration and rate of crustal movement; the rate of growth of reef building corals; and the rate of deposition of coral debris. For example, if a period of stability is long continued, a barrier reef may change as the result of the filling of the lagoon by coral growth and debris into an almost barrier reef and later into a fringing reef. In this event, a wide reef-flat should be formed. The almost barrier reefs of the South Marianas are also in this stage and may be even closer to fringing reefs than that of Yap. In the South Marianas, subsidence on the western slope was affected by tilting and almost barrier reefs were formed. However, in other areas of the South Marianas, elevation may be wholly or in part, neutralized by a change in sea level. Davis has already emphasized the wide reef-flat of Yap Almost Barrier Reef and has interpreted it as a result of a long period of stability. The Kusaie Almost Barrier Reef may have reached a similar stage of development, but deposition is in progress on the reef. Kusaie Island, on an almost barrier reef, extremely rugged with many valleys and, in addition, has heavy rainfalls, so that a large load of detritus is carried into the lagoon.

Among the coral reefs associated with the stable zone is a **Plateau reef** which is the coral reef noted and named by the author during his investigation of the Aru Islands in the East Indies. The reef is characterized by its large size and the highly developed isolated reefs in the lagoon. These isolated reefs occupie vast space in the lagoon so that the lagoon resembles a series of belts of water, the so-called Sungi. If the surface of the foundation is gently undulate and the slow subsidence of the foundation continue a very long time, there may form a special coral reef known and described as the plateau reef. No analogous sea level coral reef has been recognized, but Aru Islands on the Saful Shelf which is in a stable zone may be considered a raised plateau reef. Tijger (Tiger) Islands (72 by 36 km) (Fig. 158) and Postilyon Island in the Flores Sea of the East Indies are **Almost plateau reefs** inter-mediate between atolls and plateau reefs. This type of coral reef does not form in the South Seas probably because of continued crustal disturbance.

If a fringing reef is established on a small island with a stable foundation and the island eroded to form a continuous level surface to this reef-flat, that fringing reef will be very difficult to separate from a table reef, and if the sea level is slightly lowered, it may be impossible. The coral reefs of Padaido Islands north of New Guinea may be fringing reefs which has evolved into an atoll without passing through the usual fringing to barrier reef line of development. When fringing reefs surrounding a group of islands are extended and linked and embrace a sea, their form closely resembles that of a true atoll.

Supply Reef in the North Marianas is evidence that a coral reef may be formed on the summit of a volcano submerged at the proper depth without relation to crustal movement or to changes in sea level.

5 Recent Geological Development in the South Sea Islands

The author has attempted to fix up the history of the geological developments in the South Sea Islands after the late-Tertiary. (Fig. 156, 157)

a First regression (First Ice Age)—Pliocene

In the lowered temperatare of the late Tertiary, the reef building corals deteriorated; *Halimeda*, on the contrary, probably continued to grow abundently on the reef-flats and coniferae, on the land. Coal measures were formed at the heads of the bays on Babelthuap. The sea level was gradually lowered while the basement rocks were intermittently raised and land erosion and deposition renewed and speeded up. Several terraces were formed, topped with gravels from the older terraces. On these beds, the coral reefs of Quaternary Age were laid down.

b First elevation of sea level (First interglacial epoch)—Pleistocene

The rise of the temperature greatly stimulated the growth of reef building corals, and the Mariana-Palau Limestone and Caroline Limestone were deposited in the Western and Eastern Area respectively. The sea level rose to such a height that it covered almost all the older terraces. The upper older terraces of Saipan, Yap, Ponape and Kusaie, however, were not submerged. In addition to the general elevation of the sea level, crustal subsidence is indicated in the horizontal subsidence of Guam, and the tilting on Palau and Yap. In the Western Area, the

coral reefs formed thick limestone deposits and evolved from fringing reefs to barrier reefs as on Yap and Palau and from fringing reef to atoll as on Angaur. In the South Mariana Group of the Western Area, crustal movement, if any, was limited to a slight upheaval and only thin coral reefs were formed, including fringing reefs, bank almost barrier reefs, bank atolls, bank almost table reefs and bank table reefs.

In the Eastern Area, with the elevation in sea level and crustal subsidence, the fringing reefs growing on volcanic coasts such as that of Ponape may have evolved into barrier reefs or into atolls or even into table reefs. On the truncated level, surfaces of the Tertiary coral reefs, such as those of Jaluit, the reef building corals established themselves and perhaps formed an atoll or a table reef.

During the last half of this age, an intermittent rise interrupted by a period of stability or minor subsidence occurred in the Western Area and various raised coral reefs, fringing, almost barrier and barrier reefs were formed and constitute the Younger Mariana-Palau Limestone. Volcanic activity was already initiated in the North Marianas.

c Second regression (Second Ice Age)—Pleistocene

Both the sea level and the temperature were again lowered, and another period of destruction of the coral reefs set in. A part of the coral reefs built up in the previous age were broken down and formed abrasion platforms. Some of the platforms, especially in the Western Area where elevation prevailed, were terraced. In the Eastern Area, in the Marshall Group, where crustal movement was primarily one of slow subsidence, some of the coral reefs formed in the previous age appeared above the water. The reefs thus exposed were worn down to form abrasion platforms, and the lagoons of the smaller atolls were filled in ; in the larger atolls, the ring-like abrasion platforms were rarely completely filled by detritus derived from the exposed part of the atoll. In the case of table reefs, small abrasion platforms developed.

In areas in which the rate of subsidence equaled to the rate of regression of the sea level, coral reefs may have maintained their original forms. In areas where the rate of subsidence was more rapid than the lowering of the sea level, the coral reefs may have been submerged.

d Second elevation of sea level (Second interglacial epoch)—Pleistocene

The temperature of the water was raised but not to such a degree as during the first interglacial epoch. Consequently, the reef building corals were slightly less flourishing. The second interglacial epoch was short. A thin layer of the Older Raised Coral Reef Limestone veneered the abrasion platforms of the previous age, and fringing and other types of coral reefs were built up. The reefs were thin and were bank barrier reefs, bank atolls or bank table reefs. Due to the shortness of the epoch, these reefs did not undergo through crustal subsidence the usual stages of development from barrier reef to table reef.

In the Eastern Area, limestones varying in thickness from several meters to scores of meters were laid down on the surfaces of the earlier truncated coral reefs. In the Western Area, the rise of the sea level may not have covered all the terraced abrasion flats of the previous age but only the lower surfaces on which fringing reefs might be formed.

e Third regression (Third Ice Age)—Pleistocene

The sea level receded approximately 70 meters and for the third time the temperature was lowered, possibly to a greater degree than at any period during the Quaternary. An age of aggressive destruction of coral reefs was followed. In the Western Area, especially in the South Marianas, the regional lowering of the sea level was accompanied by intermittent upheavals; in consequence, terraces of the Older Raised Coral Reef Limestones were formed. In the Eastern Area, the lowering of the sea level and crustal subsidence progressed at the same speed. In such areas, wide abrasion platforms and high sea-cliffs may have been cut such as those in the volcanic islands in the East Caroline Group. In areas where crustal subsidence did not keep pace with the lowering of the sea level, the coral reefs of the previous age may be truncated and perhaps a ring-like abrasion platform may be built larger in scale than that of the second age of regression. In areas where crustal subsidence was more rapid than the rate of lowering of the sea level, the coral reefs may have been submerged, but examples of such reefs are very rare.

In the Palau Group, due to northward tilting, the Older Raised Coral Reef Limestone may have appeared above sea level in the south and wide abrasion platforms may have developed in the north.

f Third elevation of sea level (Third interglacial epoch)—Recent

Atmospheric and sea water temperatures again rose to the degree formerly maintained. In consequence, drowned valleys were trenched and reef building corals thrived for the third time. Various types of coral reefs were built on abrasion flats of the preceding age, and atolls with lagoons 70 meters deep were formed. Eventually, the Younger Raised Coral Reef Limestone were deposited. Crustal movement continued during this age. Even in upheaval zones such as the Western Area there was a form of stability, for the rate of upheaval was equal to the rate of elevation of the sea level. Almost barrier reefs with wide reef-flats, such as that of Yap were developed under such conditions. In subsidence zones such as the Eastern Area, the effect of the rise of the sea level was accentuated by crustal subsidence. The resulting topography includes the lagoons, approximately 100 meters deep, of Namonuito and Nukuoro Atoll and submerged atolls, such as some of those in the West Carolines. Lagoons of more than 70 meters in depth such as those of Palau, Ponape and Arno, are due to the combined effects of crustal subsidence and lowering of the sea level. Coral reefs, building in step with crustal subsidence, may evolve from fringing reefs to almost barrier reefs and from barrier reefs to atolls.

g Fourth regression (Fourth Ice Age)—Recent

This is the last of the Ice Ages, and is less marked than the preceding. The lowering of the sea level was approximately two meters. Coral reefs already existing, emerged slightly and formed the raised coral reefs which are called Younger Raised Coral Reef Limestone. However, reef surfaces exposed above sea level were immediately attacked and truncated by abrasion. The more resistant areas remained as mushroom rocks or as lowest terraces and the truncated portion become the pavement-likereef-flat.

In the area such as the South Marianas where crustal upheaval prevails, the elevation is naturally greater and the exposed area of the Younger Raised Coral Reef Limestone is relatively wide; in the area where crustal subsidence prevails, the Younger Raised Coral Reef Limestone is, normally, at a slightly lower elevation and forms mushroom rocks.

During this age, the temperature was not lowered sufficiently to affect the growth of the reef building corals. On the margins, living corals were extending to the reef-flats, both toward the ope nseas and toward the lagoons. Coral gravels,

deposited on the Younger Raised Coral Reef Limestones and on the truncated reef-flats, formed coastal plains or cays (coral islets) approximately 2 meters high.

6 Relation between the Glacial Agents and Crustal Movement

Daly overrated the effect of the third Ice Age and the third interglacial epoch. He attempted to interpret the problems of the so-called "recent coral reefs", the author's "Younger Raised Coral Reef Limestone", as the result of those periods. Even though such an explanation might hold for the so-called recent coral reefs, the coral reefs of Mariana-Palau Limestone Age can not be explained without due consideration of the differing degrees of subsidence in the different areas. There is no evidence that the crust has been stable since the deposition of the Mariana-Palau Limestone. In fact, the evidence is against such a premise, and the development of subsequent coral reefs probably has been determined to some degree by crustal movements. The uniformity in depth of the lagoons of the so-called recent coral reefs may be interpreted as a result of the general lowering of the sea level. Exceptionally deep or shallow lagoons are, for the most part, due to localized crustal elevation and subsidence. Not all so-called recent coral reefs are the product of the third interglacial epoch but most of them are built over the remnants of coral reefs of the past; in other words, mo st of the so-called recent limestones are relatively younger corals reefs built layer by layer upon the older reefs. The islands in the North Marianas are of various types; if affected by glacial action alone, the various coral reefs covered by Daly's theory may be formed. However, if these coral reefs are, in addition, subject to crustal subsidence, they should eventually evolve into atolls and table reefs accroding to the theory of Darwin. The regional characteristics of coral reefs such as the numerous atolls in the Marshall Group and the table reefs in the Tobi Group are difficult to be explained by glacial action alone as Daly has attempted to do. The work of the glacial agencies acting independently is merely a repeated building up and breaking down of the coral reefs on the abrasion surfaces. The submerged atolls in the West Carolines may be so interpreted, but tilting movement of basement rock best explains asymmetry in coral reef building in a single group or on a single island.

In short, the glacial agent during the Quaternary age tremendously affected the coral reefs, but the influence of the intermittent crustal disturbances, which

have been a factor of their development since the earliest recognized reefs, should not be ignored. The glacial agencies were incidents during the historical development of the earth. Coral reefs not differing greatly from those of today may have developed in the past, even in the absence of glacial phenomena. The early and middle-Tertiary coral reefs were apparently free from glacial control, and both crustal movements and glacial agencies were probably effective in the formation of the later coral reefs of the South Sea Islands.

Jaluit atoll (Fig. 156) was chosen to represent a typical coral reef in the Eastern Area. The core is of volcanic rock. Coral reefs of Tertiary age were truncated during the period when the sea was at the level indicated by No. 1. Coral reefs of Mariana-Palau Limestone and Caroline Limestone Age were laid down during the first transgressive period indicated by No. 2; they were truncated, however, during the second regressive period indicated by No. 3. Coral reefs, composedly the Older Raised Coral Reef Limestones in large part, formed over the truncated reef during the second transgression (No. 4). The vast majority of the coral reefs formed of the Older Raised Coral Reef Limestone were destroyed and formed local abrasion platforms during the third regression (No. 5), which involved a fall of 70 meters in the sea level. Some of the coral reefs with a lagoon in the center formed ring shaped abrasion flats. Coral detritus was deposited on the outer sea slopes and on the lagoon floors. Subsequently, in the third transgression, the sea level regained the 70 meters lost, and, due to subsidence, exceeded its former level (No. 4) and rose to the level indicated by No. 6. The coral reefs of the Younger Raised Coral Reef Limestone were built during this fourth period of transgression. The sea level has been lowered approximately 2 meters since and is now at the level indicated by No. 7. The tops of the coral reefs were truncated slightly to form pavement-like reef-flats, and mushroom rocks have been chiselled out. Coral fragments piled up on the flats were shaped into cays by wave action. Some of the coral islets may have been formed at the No. 6 sea level and beach sandstone and conglomerate deposited on the beach at that time.

Fig. 157 illustrates the historical development of a coral reef in an area of regional elevation. Saipan Island (Fig. 157) was chosen to represent the reef islands of the Western Area.

The basement rock is andesitic. The deposition surface of the Tertiary coral reefs was the truncated level indicated by No. 1 and was in the form of a bank

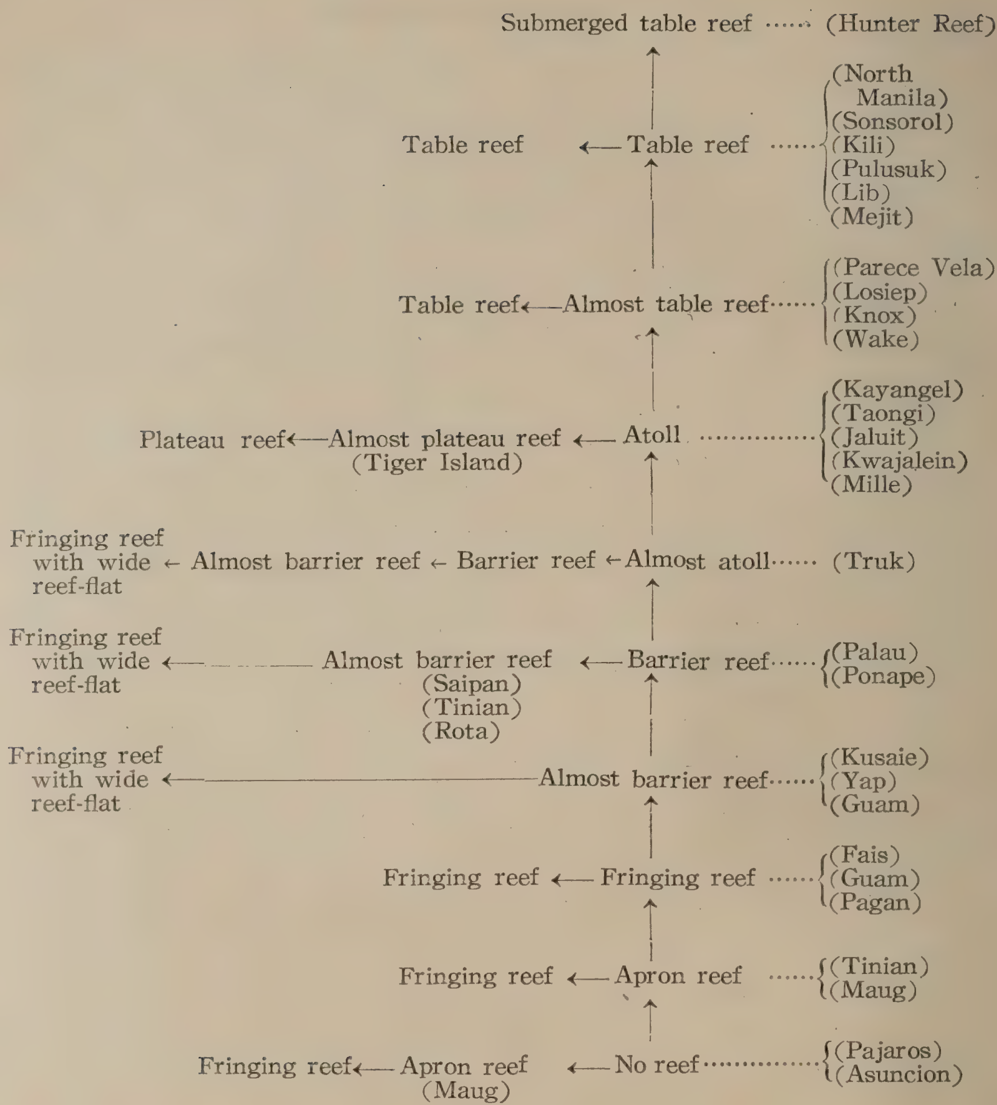
table reef. The level No. 1 shows the eroded surface of that reef. During this time *Halimeda* colonies were thriving on the slopes. The coral reefs of the Mariana-Palau Limestone were formed during the first transgressive period indicated by the No. 2 sea level, but their sides were eroded during the second regression (No. 3 and 3′). In this period, not only the sea level was lowered, but the foundation was elevated so that the total elevation was greater than in an area of regional subsidence. Intermittent elevation tended to form a terrace like terrain and coral reefs composed of the Older Raised Coral Reef Limestone were formed on the terraces during the second transgression (No. 4). The sea level was lowered 70 meters during the third regression indicated by No. 5 and, in addition, the land was raised, thus accentuating the relative elevation. During this time, the coral reefs of the Older Raised Coral Reef Limestone was worn back and abrasion platforms were formed at the foot of the reefs. In the third transgression, the sea level again rose 70 meters, but due to crustal elevation, it did not regain the former sea level, No. 4, but came to rest at No. 6 sea level. During this period, coral reefs of Younger Raised Coral Reef Limestone were formed. A recent lowering of the sea level of approximately 2 meters characterized the fourth regression, No. 7. During this period, the tops of the coral reefs were truncated to form pavement-like reef-flats and mushroom rocks. Coastal plains were also formed. Recent limestone is now being deposited at the bases of the notches in the mushroom rocks or subjacent to the sand beaches of the coastal plains.

V CONCLUSIONS

The classification of the coral reefs is based on their morphology and genesis. The coral reefs include those that have been influenced by the changes in sea level, including crustal movements and those that have not been so influenced. Those affected by eustatic changes are subdivided into reefs in stages of progression and reefs in stages of regression.

Coral reefs are formed due not to a single cause but to many. Most of them, however, were probably formed in accord with the Darwinian theory modified to a certain extent by Daly's glacial control hypothesis.

The following table shows the progressional changes in coral reefs due to subsidence and the regressional changes due to a long period of stability. Changes due to subsidence are shown vertically and changes due to stability are shown horizontally with examples of each. Obviously, various types of submerged coral reefs are formed when a sudden crustal subsidence occurs, and raised coral reefs, when the sea level is lowered or the land rises.


Submerged table reef ······ (Hunter Reef)
Table reef ← Table reef ······ (North Manila) (Sonsorol) (Kili) (Pulusuk) (Lib) (Mejit)
Table reef ← Almost table reef ······ (Parece Vela) (Losiep) (Knox) (Wake)
Plateau reef ← Almost plateau reef (Tiger Island) ← Atoll ······ (Kayangel) (Taongi) (Jaluit) (Kwajalein) (Mille)
Fringing reef with wide reef-flat ← Almost barrier reef ← Barrier reef ← Almost atoll ······ (Truk)
Fringing reef with wide reef-flat ← Almost barrier reef (Saipan) (Tinian) (Rota) ← Barrier reef ······ (Palau) (Ponape)
Fringing reef with wide reef-flat ← Almost barrier reef ······ (Kusaie) (Yap) (Guam)
Fringing reef ← Fringing reef ······ (Fais) (Guam) (Pagan)
Fringing reef ← Apron reef ······ (Tinian) (Maug)
Fringing reef ← Apron reef (Maug) ← No reef ······ (Pajaros) (Asuncion)

VI BIBLIOGRAPHY

1. **Aoki, Renjirō**: Brief Report on the Geology of the Occupied South Sea Islands (Reports of Inspection Tour of the Occupied Areas in the South Seas, Ministry of Education, 1916)

2. **Aoki, Renjirō**: Topography and Geology of the **Minami** and **Kita-Daitō**-Zima. (Jour. Geog. Soc., Tōkyō, Vol. XLI, 1931)

3. **Asahina, Hideo**: On the Topography of Coral Reefs in South Seas (Hydrographic Bulletin, Tenth Year, 1931)

4. **Behrman, W.**: Die Oberflächenforman inden feuchtwarmen Tropen (Zeitschrift Gesellschaft für Erdkunde, Berlin, 1921)

5. **Dana, J. D.**: Corals and Coral Reefs. (New York, 1872)

6. **Daly, R. A.**: The Glacial-control Theory of Coral Reefs (Proc. Amer. Acad. Art. Sci., Vol. LI, No. 4, 1915)

7. **Davis, W. M.**: The Coral Reef Problems (Amer. Geogr. Soc. Spec. Publication No. 9, 1928)

8. **Darwin, Ch.**: The Structure and Distribution of Coral Reefs (1842)

9. **Eguchi, Motoki**: Corals and Coral Reefs of Palau Group, South Sea Islands (Inst. Geol. Paleo. Tōhoku Imp. Univ. Contr., Jap. Lang., No. 11, 1934)

10. **Hanzawa, Shōshirō**: On the Foraminifera-bearing Rocks of Okinawa and Bonin Islands (Jour. Geol. Soc. Tōkyō, Vol. XXXII, 1925)

11. **Hanzawa, S.**: Topography and Geology of the Ryūkyū Islands (Sci. Rep., Tōhoku Imp. Univ., 2 Ser., Vol. XII, 1935)

12. **Hanzawa, S.**: Brief Geology, Submarine Topography and Bottom Property of the South Sea Islands (The Institute of the Pacific [Taiheiyō-kyōkai] 1941)

13. **Hanzawa, S.**: Micropaleontological Studies of Drill Cores from a Deep Well in Kita-Daitō-Zima (Jubilee Publication in the Commemoration of Professor H. Yabe, M. I. A. Sixtieth Birthday, Vol. XI, 1940~41)

14. **Hobbs, W. H.**: Reef Formation as an Index of Mountain-building Process. (Pan-Pacific Sci. Cong., Australia, 1923)

15. **Hobbs, W. H.**: The Asiatic Arc (Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. XXXIV, 1923)

16. **Hada, Yoshiine**: On the Garudokku Lake in South Sea Islands (Bull. Limnology (Rikusui-Gaku) Vol. II, 1932)

17. **Hasebe, Kotondo and Yawata, Ichirō:** On South Sea of the Past (1933)

18. **Humbruno:** Geological Survey Report on Ponape Island (Translated into Japanese, kept at Ponape Sub-Governmental Office, South Sea Islands)

19. **Iwasaki, Jūzō:** Geology of the South Sea Islands (Jour. Geol. Soc., Tōkyō, Vol. XX, 1915.)

20 **Kaiser, E.:** Alte Gestein von den Karolinen (Zeits, Deut. Geol. Gesells, Bd. LIV, 1902)

21. **Kaiser, E.:** Beitrage zur Petrographie und Geologie der Deutschen Südsee-Inseln (Jahrb. Preuss. Geol. Landesanst. Bd. XXIV, 1903)

22. **Kinoshita, Kijō:** Preliminary Notes on the Nepheline Basalt and some associated Rocks from Truk, Caroline Islands (Jour. Geol. Soc. Tōkyō, Vol. XXX, 1929)

23. **Koert, W. und Finckel, L.:** Zur Geologischen Kenntnis von den Palauinseln, den Marianen und Ponape (Beitrage zur Geologischen Erdkunde der Deutschen Schutzgebiet, Heft XVIII, 1902)

24. **Komukai, Ryōshichi:** Topography and Geology of Truk Islands (Inst. Geol. Paleo. Tōhoku Imp. Univ. Graduation thesis 1942)

25. **Kodaira, Masao:** Geology of Tinian Island (Inst. Geol. Paleo. Tōhoku Imp. Univ. Graduation thesis 1939)

26. **Kuenen, Ph. H:** Geology of Coral reefs (Scientific Results of Snellius-Expedition, Vol. V. Geological Result, Part 2, 1933)

27. **Mollengraaf, G. A. F.:** The Coral Reefs in the East Indian Archipelago, their Distribution and Mode of Development (Fourth Pacific Science Congress, Vol. II, A)

28. **Matsuyama, Motonori:** Determination of the Second Derivation of the Gravitational Potential on the Jaluit Atoll (Memoirs College of Sci., Kyōto, Vol. III, 1918)

29. **Ōtsuki, Yōnosuke:** Geology and Mineral Resources of the South Sea Islands (Geol. Survey of Japan, Report No. 54, 1925)

30. **Onoyama, Takebumi:** Brief Observations on the Topography and Geology of the Important Islands in the South Sea Mandates (The Globe [Tikyu] Vol. XXIII, 1935)

31. **Ōta, Yasushi:** Chemical Analysis and Microscopic Study on the Test Boring Cores of Kita-Daitō-Zima and on the Daitō Limestone (Inst. Geol. Paleo., Tōhoku Imp. Univ., Contr. Jap. Lang., Vol. XXX, 1940)

32. **Semper, C.:** Reisenbericht (Palau Inseln) (Zeitschrift fur Wiss. Zool. Bb. XIII, 1863)

33. **Shigematsu, Ryōichi:** A Brief Note on the Depth of Sea in the Vicinity of Mariana Islands (Records of Oceanographic Works, Vol. V, 1933)

34. **Sugawara, Shō:** Geology of Rota Island (Inst. Geol. Paleo. Tōhoku Imp. Univ. Graduation thesis 1942)

35. **Sugiyama, Toshirō:** On the Boring of Kita-Daitō-Zima (Inst. Geol. Paleo. Tōhoku Imp. Univ., Contr. Jap. Lang., No. 11, 1934)

36. **Sugiyama, Toshirō:** On the Second Boring of Kita-Daito-Zima (Inst. Geol. Paleo. Tohoku Imp. Univ. Contr. Jap. Lang. No. 25, 1936)

37. **Tayama, Risaburō:** Geomorphological Consideration on the Coral Reefs in the Marshall Group (Inst. Geol. Paleo, Tōhoku Imp. Univ., Contr. Jap. Lang., No. 10, 1934)

38. **Tayama, Risaburō and Eguchi, Motoki:** Coral Reefs (Iwanami Kōza, Geology, 1934)

39. **Tayama, Risaburō:** On the Widths of Reef-flats (The Geographical Review of Japan, Vol. X, 1934)

40. **Tayama, Risaburō:** Distribution of Coral Reefs in Our South Seas (Ibid, Vol. X, 1934)

41. **Tayama, Risaburō:** On the Table Reefs, Particular Type of Coral Reefs (Hydrographic Bulletin 1934)

42. **Tayama, Risaburō:** Topography of Rota Island (The Geographical Review of Japan, Vol. X, 1934)

43. **Tayama, Risaburō:** Distribution of Islands and Submarine Topography of the South Sea Islands (Inst. Geol. Paleo, Tōhoku Imp. Univ., Contr. Jap. Lang., No. 17, 1935)

44. **Tayama, Risaburō:** Geomorphology, Geology and Coral Reefs of Palau Group (Ibid. No. 18, 1935)

45. **Tayama, Risaburō:** Table Reefs, A Particular Type of Coral Reefs (Imp. Acad. Tōkyō, Proc., Vol. II, 1935)

46. **Tayama, Risaburō:** Distribution of Coral Reefs in the South Seas (Ibid., Vol. II, 1935)

47. **Tayama, Risaburō:** Geomorphology, Geology, and Coral Reefs of Yap Group (Inst. Geol. Paleo, Tōhoku Imp. Uuiv., Contr. Jap. Lang. No. 19, 1935)

48. **Tayama, Risaburō:** Geomorphology, Geology and Coral Reefs of Aru Group in Netherland East Indies (Ibid., No. 20, 1936)

49. **Tayama, Risaburō:** Geomorphology, Geology and Coral Reefs of Tinian Island (Ibid., No. 21, 1936)

50. **Tayama, Risaburō:** Geomorphology, Geology and Coral Reefs of North Mariana Group (Ibid., No. 23, 1936)

51. **Tayama, Risaburō:** Geomorphology, Geology and Coral Reefs of Ponape Island (Ibid., No. 24, 1936)

52. **Tayama, Risaburō:** Geomorphological and Geological Consideration of Aru Group in the Netherland East Indies (Geographical Review of Japan, Vol. XII, 1936)

53. **Tayama, Risaburō:** Yap Island Observed from the Geological Standpoint (The Science, Vol. VI, 1936)

54. **Tayama, Risaburō and Shimakura, Misaburō:** On the Lignite of Babelthuap Island, Palau Group (Jour. Geol. Soc. Tōkyō, Vol. XLIV, 1937)

55. **Tayama, Risaburō:** On the Ridges in Western Part of South Sea and on the Crustal Movements of the Group (Inst. Geol. Paleo. Tōhoku Imp. Univ. Contr. Jap. Lang. No. 28, 1937)

56. **Tayama, Risaburō:** Geomorphology, Geology and Coral Reefs of Saipan Island (Tropical Industry Institute, South Sea Islands Government, Bull. No. 1 1938)

57. **Tayama, Risaburō:** Survey Report on the Underground Water of Saipan Island (First Report) (Ibid., No. 2, 1939)

58. **Tayama, Risaburō:** Brief Report on Geology and Mineral Resources on Babelthuap Island (Ibid., No. 3, 1939)

59. **Tayama, Risaburō:** Terraces of the South Sea Islands under the Japanese Mandate (Imp. acad. Tōkyō, Proc., Vol. XV, 1939)

60. **Tayama, Risaburō:** Correlation of Formations in South Sea Islands (Jour. Geol. Soc., Tōkyō, No. 46, 1939)

61. **Tayama, Risaburō:** A Tentative Plan for the Classification of Coral Reefs (The Geographical Review of Japan, Vol. XV, 1939)

62. **Tayama, Risaburō:** Geomorphology, Geology and Coral Reefs of Truk Island (Jubilee Publication in the Commemoration of Prof. H. Yabe, M. I. A., Sixtieth Birthday, 1940)

63. **Tayama, Risaburō:** Geomorphology, Geology and Coral Reefs of Aguijan Island (Tropical Industry Institute, South Sea Islands Government, Bull. No. 6, 1940)

64. **Tayama, Risaburō:** Types of Deposition and Distribution of Phosphate Ores in South Sea Islands (Ibid., No. 8, 1942)

65. **Tayama, Risaburō:** Coral Reefs of South Sea Islands (The Taiheiyō Kyōkai, 'South Sea Islands,' 1941)

66. **Tayama, Risaburō:** Geomorphological and Geological Observation of Vogelkop Peninsula, New Guinea (Inst. Geol. Paleo. Tōhoku Imp. Univ. Contr., Jap. Lang. No. 37, 1942)

67. **Tayama, Risaburō:** Lecture of Coral Reefs (Hydrographical Bulletin, 21st Year, 1942)

68. **Tada, Fumio:** Abrasion Terraces of the South Sea Islands (The Geographical Review of Japan, Vol. II, 1926)

69. **Tuboya, Koroku:** Petrographical Investigation of Some Volcanic Rocks from the South Sea Islands, Palau, Yap, and Saipan (Jap. Jour. Geol. Geog. Vol. IX, 1931)

70. **Tsujimura, Tarō:** A Newly Conceived Geomorphology (1933)

71. **Volkens, G.:** Über die Karolinne Insel Yap (Verh. d. Gesells. f. Erdkunde z. Berlin, Bd. XXXVIII, 1901)

72. **Wickman, A.:** Zur Geologischen Kenntnis der Palau Inseln (Jour. Museum Godeffroy, 1875)

73. **Yabe, H. and Tayama, R.:** Depth of the Atoll-lagoons in the South Sea (Imp. Acad., Tōkyō, Proc., Vol. XIII, 1937)

74. **Yabe, H and Aoki, R.:** Reef Conglomerate with Small Pellets of *Lepidocyclina* limestone found on the Jaluit Atoll (Jap. Jour. Geol. Geogr. Vol. I, 1922)

75. **Yabe, H. and Sugiyama, T.:** Subfossil Gizzard Stone Probably of Birds Found in The Phosphate Deposit of Kita-Daitō-Zima (Imp. Acad., Tōkyō, Proc. Vol. X, 1934)

76. **Yabe, H and Hanzawa, S.:** Stratigraphical Study of the Formosan Tertiary Foraminiferal Rocks (Jubilee Publication in Commemoration of Dr. Ogawa, Sixtieth Birthday, 1930)

77. **Yabe, H. and Tayama, R.:** On some Remarkable Examples of Drowned Valleys found around the Japanese Islands (Records of Oceanographic Works in Japan, 1929)

78. **Yoshii, Masatoshi**: Brief Notes on the Non-Calcareous Limestone in the South Sea Islands (Inst. Geol. Paleo., Tōhoku Imp. Univ., Contr. Jap. Lang., No. 22, 1936)

79. **Hydrographic Department**: Sailing Directory of the South Sea Islands (1940)

Chart

(1) Hydrographic Dept.: Hydrographic Charts of the South Seas

(2) Hydrographic Dept.: Sea Current Charts of the Northern Pacific

(3) Hydrographic Dept.: Meteorological Maps of the Northern Pacific

(4) Hydrographic Dept.: Depth Curve Charts of the adjacent sea of Japan (1937, 1939, 1952)

昭和27年6月25日　印刷
昭和27年6月30日　発行

編修兼発行所　海上保安廳水路部
東京都中央区築地5丁目

印刷者　保好舎印刷株式會社
東京都中央区日本橋茅場町

〔非賣品〕